



# **Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

Dirección General de Estudios de Posgrado  
Facultad de Ingeniería Geológica Minera Metalúrgica y  
Geográfica  
Unidad de Posgrado

## **Mitigación de aguas ácidas provenientes de las minas subterráneas-caso Huarón**

### **TESIS**

Para optar el Grado Académico de Magíster en Ciencias  
Ambientales

### **AUTOR**

Hernán Oswaldo CANALES REVATTA

### **ASESOR**

Estanislao De la CRUZ CARRASCO

Lima, Perú

2007



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Canales, H. (2007). *Mitigación de aguas ácidas provenientes de las minas subterráneas-caso Huarón*. Tesis para optar el grado de Magíster en Ciencias Ambientales. Unidad de Posgrado, Facultad de Ingeniería Geológica Minera Metalúrgica y Geográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

---

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar agradezco al Dr. Estanislao De La Cruz Carrasco por su valiosa contribución y su talento, quien fue la persona que impulsó y contribuyo en la elaboración de la Tesis como asesor.

Así mismo mis agradecimientos va a cada uno de los miembros de jurado examinador: MG. Carlos Francisco Cabrera Carranza (Presidente), M.SG. Pablo Antonio Núñez Jara (Secretario), MG. Mariano Pacheco Ortiz (Miembro), MG. Enrique Guadalupe Gómez (Miembro) y finalmente a la Sra. Luz Janette Vera Barbaran secretaria del Post Grado, quién tubo la fina cortesía de apoyar en los diversos tramites requeridos hasta la culminación.



## **DEDICATORIA**

A mi Madre  
Zoila Rebatta Ñañez

Mi Esposa  
Sabina Cárcamo Reyes  
e Hijos  
Erwin Américo  
y Cindy Mizuki.

Quienes en forma conjunta  
estuvieron pendientes en la  
culminación y sustentación  
del presente estudio.

## RESUMEN

Históricamente muchas compañías mineras que explotan minerales polimetálicos en diferentes lugares del País, por presencia de sulfuros generan aguas ácidas, para el caso del presente trabajo de Tesis se ha elegido la mina Huarón que viene trabajando de manera continua desde el año 1912 hasta 1987 bajo las dominios de los franceses como compagnie de mines de Huarón a partir del año 1987 hasta el 24 de Abril del año 1998, fecha que se inundó la laguna Naticocha de la mina vecina Animón (chungar), bajo la administración de Mauricio Hochschild C. S.A. y del año 2000, los dominios de la mina Huaron fue adquirida por Pan American Silver S.A.C. reiniciando sus operaciones en abril del 2001 a la fecha.

Compañía minera Huarón, como otras unidades mineras polimetálicas son contaminantes de las aguas neutras por presencia de sulfuros en sus labores subterráneas, por concentración de minerales, depósitos de relaves y depósito de desmontes que hasta la dación de la resolución N° 011-96 EM/VMM límites máximos permisibles para efluentes líquidos minero metalúrgicos, a la fecha las aguas ácidas fluían sin control causando daños a la biota, es en esta etapa que se realiza monitoreo en los puntos indicados y aprobados por el MEM teniendo resultados con valores que sobrepasan los límites máximos permisibles.

A partir del año 2003 al 2005 se realizan los trabajos de mejoras: construcción de Raise Borer del nivel 400 al nivel 250 interior, derivación de las aguas ácidas de relaves antiguos (Huayllay y Condorcayan), 02 pozas para la sedimentación, una planta para la lechada de cal y la planta de floculación, donde antiguamente los análisis de agua monitoreados en los diferentes puntos arrojaban valores que sobrepasan los niveles máximos permisibles, por esta razón se consideró realizar el tratamiento de aguas ácidas por el método de neutralización con el uso de cal y uso de floculantes y lograr mitigar estos efluentes y sedimentar los sólidos totales existentes en ellos y encausar las aguas al cuerpo receptor, una vez que hayan cumplido con los niveles máximos permisibles establecidos por el Ministerio de Energía y Minas.

## RELACIÓN DE FOTOGRAFÍAS

1.- Cerro Huarón, área de mineral del cual deriva el nombre de la mina	6
2.- Planta de tratamiento de minerales en mina Huarón.	10
3.- Equipo monitoreando la calidad de aire en la zona Industrial.	28
4.- Laguna LLacsacocha ubicada en la parte alta de Francios.	30
5.- Aguas decantadas de los relaves que están drenando por las quenas y son descargadas al cause del río San José.	31
6.- Ganado auquénido y ovinos de Huayllay consumiendo pastos naturales (ichu), frente al túnel Trapiche.	39
7.- Pueblo de la Comunidad de Huayllay	41
8.- Punto de monitoreo EF-02 (antes) en el nivel 400 por donde drenan las aguas ácidas antes del transvase al nivel 250 por el Raise Borer.	47
9.- Aguas ácidas de color amarillo marrón que drenan por el Nivel 400 - túnel Trapiche.	48
10.- Poza de sedimentación de aguas de mina ubicado en el nivel 400, túnel Trapiche antes que se realice el transvase.	51
11.- Antigua poza de sedimentación de Trapiche se halla en trabajo de nivelación, cubrir con capa agrícola y revegetar con ry grass Ingles.	51
12.- Túnel Paúl Nevejans del nivel 250, por donde drenan las aguas ácidas de las labores mineras.	54
13.- Poza antigua de decantación de aguas de mina conocida como “Poza de Arcillas” en la zona de San José, nivel 250.	54
14.- Aguas en épocas de lluvias están muy crecidas y obsérvese el punto de monitoreo S-9	59
15.- Poza de captación de aguas ácidas provenientes de los depósitos de relaves N° 5 y otros.	64
16.- Las aguas ácidas de los relaves son derivadas por la chimenea de 8.5” de diámetro hacia el canal principal del nivel 250.	64
17.- Dos pozas para la captación y sedimentación de las aguas ácidas colectadas de los diferentes puntos.	66
18.- Las aguas ácidas son derivadas por la tubería de PVC de 4” de	

diámetro del depósito de relaves antiguos al nivel 250.	66
19.- Se realizó la perforación diamantina de 8.5" de diámetro con el raise borer cerca al túnel Trapiche del nivel 400 para desviar el agua hacia el nivel 250.	70
20.- Construcción del canal para desviar las aguas del nivel 400, hacia la perforación diamantina y drenar al nivel inferior de la mina para ser tratadas en un solo punto.	70
21.- El agua que viene a través de la tubería de PVC son del depósito de relaves N° 5 y del nivel 400 es derivado al nivel 250.	72
22.- Las aguas ácidas del depósito de relaves antiguos, son vertidos por esta tubería al canal principal del nivel 250.	73
23.- Las aguas ácidas colectadas ingresan por este canal, con la mezcla de hidroxido de calcio y floculante a las pozas de sedimentación.	74
24.- Dos pozas construidas para la sedimentación de las aguas ácidas colectadas de los diferentes puntos.	77
25.- Tanque de preparación de lechada de cal de forma manual (antes) y personal midiendo el pH del agua.	78
26.- Planta de preparación de lechada de cal, se encuentra en la parte inicial de la planta concentradora de minerales.	79
27.- Floculantes en bolsas de 25 kilos cada uno, una balanza para el Pesaje y su hoja de datos.	83
28.- Deposito para preparar los floculantes una porción de floculo y volumen de agua fresca.	84
29.- Se aprecia los tres tanques: tanque de preparación, maduración y dosificación (almacenaje).	85
30.- Poza donde se clarifican las aguas.	87
31.- Las aguas ácidas tratadas en estas pozas son vertidas al río San José, personal midiendo el pH (8.25).	88
32.- Almacenamiento de lodos en época anterior.	91
33.- Limpieza de las pozas de sedimentación después de 3 a 4 días de reposo con la lechada de cal y floculante.	92
34.- Los lodos sedimentados, son bombeados a las pozas de lodos	

mediante dos bombas instaladas uno en cada caseta.	93
--	----

## **RELACIÓN DE CUADROS**

1.- Coordenadas UTM del lugar de las instalaciones.	1
2.- Concentración de Elementos Metálicos, Plomo, Arsénico y Partículas en Suspensión PM-10.	28
3.- Niveles Máximos Permisibles de Ruido	29
4.- Límites Máximos Permisibles de Calidad del Agua en Unidades Mineras Metalúrgicas Operativas	35
5.- Resultado de Análisis de Sedimentos Contaminantes de la Actividad minera metalúrgica de Huarón Y Animón	36
6.- Personal que Integra la Compañía minera Huarón al 30 de Abril 2006	41
7.- Matriz de Impactos Ambientales	44
8.- Resultados de análisis de agua realizado en los años 2002 y 2003 punto EF-02 nivel 400 del túnel Trapiche.	49
9.- Descripción de los puntos de monitoreo de efluentes (antes)	60
10.- Consumo de Sustancias Químicas en el Tratamiento de agua ácida en el nivel 250	85
11.- Puntos de monitoreo de agua.	88
12.- Costo de tratamiento de Aguas Acidas de Mina – Junio 2006	94

## **RELACIÓN DE GRAFICOS**

1.- Resultados del punto E-2 Nv. 400 año 1996	47
2.- Resultados del punto E-2 Nv. 400 año 2002 y 2003	49
3.- Resultados del punto EF-03 (nivel 250) año 2002	53
4.- Resultados del punto EF-06 (relaves de Huayllay) año 2002	54
5.- Cancha Relaves N° 5 (E – 4A)	57
6.- Cancha Relaves N° 5 (E – 4B)	57
7.- Río San José después de la sedimentación de los drenajes de la cancha de Relave N° 5 y aguas del Nv. 400 (E-9)	60
8.- Resultados Analíticos del Muestreo de Efluentes del 2004	61

9.- Resultados Analíticos Cancha Relaves N° 5 EF – 05	
Julio 2005 – Marzo 2006	65
10.- Resultados Analíticos (Relaves Huayllay) EF – 06	
Julio 2005 – Marzo 2006	67
11.- Resultados Analíticos Nivel 400 EF–02 Julio 2005 – Marzo 2006	71
12.- Resultados Analíticos EF – 03 Julio 2005 – Marzo 2006	
(antes del Transvase)	75
13.- Resultados Analíticos CR - 01 Julio 2005 – Marzo 2006	
(antes del Transvase)	76
14.- Costo de tratamiento	86
15.- Resultados Analíticos Nivel 250 EF – 03 de Abril – Junio 2006	
(Después del Transvase)	90
16.- Resultados Analíticos CR - 01 de Abril – Junio 2006 después del transvase.	90

### **RELACIÓN DE PLANOS**

1.- Ubicación y Acceso	3
2.- Plano de Labores	8
3.- Diagrama de los Procesos Mineros	11
4.- Diagrama de Balance de aguas	34
5.- Plano de canales de descarga de agua niveles 400 y 250	52
6.- Plano cancha de relaves N° 5	58
7.- Plano de estaciones de Monitoreo	62
8.- Proyecto de Chimenea con Raise Borer	69
9.- Flow Shett de la planta de lechada de Cal.	82
10.- Diagrama Flujo de Agua.	89

### **RELACIÓN DE ANEXOS**

1.- Punto de control de monitoreo	118
2.- Costos	119
3.- Resultado de monitoreos	120

## INTRODUCCION

El presente trabajo esta referido a la mina Huarón, fue tomado de muestra

por que en muchas oportunidades que visité a esta mina veía la fuente de agua que drenaba por los 2 canales principales que tiene la mina nivel 400 y nivel 250 cuyas aguas de color amarillo marrón y las pozas de drenaje de los depósitos de relaves antiguos (Huayllay y Condorcayan).

Es la razón que me atreví a solicitar autorización a la compañía minera Pan American Silver SAC, actual administración.

La generación de aguas ácidas es el problema principal dentro de una operación minera la cual se origina desde la explotación, concentración y refinación del mineral así mismo es reconocido como el aspecto más importante de Impacto Ambiental que viene afectando diversas regiones mineras a nivel mundial.

El autor presenta la Tesis denominada **“Mitigación de aguas Acidas provenientes de las Minas Subterráneas – Caso Huarón”** tiene el propósito de estudiar, analizar, evaluar, proponer la mitigación de los diferentes impactos generados por las aguas acidas que se encuentran contaminando al ambiente, utilizando técnicas actualizadas.

El estudio esta dividido en 5 capítulos de manera ordenada, refrendado por fotografías, planos, cuadros, gráficos y anexos.

En el presente trabajo se consideraron los análisis históricos tomados desde el año 1996 hasta realizar el transvase, de igual manera esta dado por una relación de bibliografía por diferentes autores.

Se realizaron los trabajos de transvase del agua del nivel 400, aguas drenadas de los relaves antiguos (Huayllay y Condorcayan) al nivel principal Nivel 250, construcción de pozas para la sedimentación y una planta de lechada de cal.

# INDICE

**Pág.**

## **CAPITULO I: Generalidades**

1.1.- Ubicación y Escenario General de la Mina	1
1.2.- Accesibilidad	2
1.3.- Antecedentes de las Operaciones que Generan el Problema	
Planteado de la mina Huarón.	4
1.4.- Geología de la mina Huarón.	5
1.5.- Fases del Proceso minero en la Mina Huarón	7
1.5.1.- Proceso Mecánico de Concentración de Minerales	9
1.6.- Marco Legal	12

## **CAPITULO II: Diseño de Investigación**

2.1.- Carácter Novedoso del proyecto – Originalidad de la Investigación.	13
2.2.- Aportes a la Sociedad la Ciencia y la Tecnología.	14
2.2.1.- Sociedad	14
2.2.2.- Ciencia	14
2.2.3.- Tecnología	14
2.3.- Sustentación del Tema	14
2.4.- Antecedentes	15
2.5.- Formulación y Planteamiento del Problema	19
2.6.- Planteamiento	20
2.7.- Hipótesis	20
2.8.- Objetivos:	20
2.8.1.- Objetivo General	20
2.8.2.- Objetivos Específicos	20
2.9.- Metodología	21
2.10.- Limitaciones en el Estudio	21
2.11.- Marco Teórico	22
2.11.1.- Agua Acida	22
2.11.1.1.- Tipos de Agua Ácida	22



2.11. 2.- Generan	23
2.11.3.- Mitigación	24
2.11.4.- Tratamiento	24
2.11.5.- Técnicas	24
2.11.6.- Impactos Ambientales	25
2.11.7.- Impacto Social	25
2.11.8.- Impactos de la Minería	25
2.12.- Definición de Términos Básicos	25

### **CAPITULO III: Estudio de los Componentes Ambientales de la Zona**

3.1.- Aire	27
3.2.- Ruido	29
3.3.- Agua	29
3.3.1.- Agua Superficial.	29
3.3.2.- Agua derivada de la Cancha de Relaves N° 5	31
3.3.3.- Aguas derivadas de Labores Subterráneas	31
3.3.4.- Cuerpo Receptor	32
3.3.5.- Estándares de Calidad de Agua	35
3.4.- Suelo	36
3.4.1.- Tierras para pastos Naturales	37
3.4.2.- Tierras para la Producción Forestal.	38
3.5.- Flora	38
3.6.- Fauna	39
3.6.1.- Mamíferos	39
3.6.2.- Aves	39
3.6.3.- Reptiles	40
3.7.- Aspectos Socio-Económicos	40
3.7.1.- Población.	40
3.7.2.- Principales Indicadores Demográficos – Huayllay	41
3.7.3.- Actividad Económica	42
3.8.- Análisis y Evaluación de la Matriz de Impactos Ambientales	42
3.8.1.- Consideraciones del Análisis y Evaluación del (EIA)	43

## **CAPITULO IV: Fuentes de Contaminación de Impactos Ambientales de la mina Huarón**

4.1.- Generación de Aguas Acidas	45
4.2.- Fuentes de Contaminación	46
4.2.1.-Drenaje Proveniente de las Bocaminas.	46
4.2.1.1.- Drenaje por el Nivel 400 Túnel Trapiche	48
4.2.1.1.1.-Construcción de 3 Pozas de Sedimentación (Trapiche)	50
4.2.1.2.- Drenaje por el nivel 250 túnel Paúl Nevejans.	53
4.3.- Drenaje Proveniente de los Relaves	55
4.3.1.- Depósito de Relaves Antiguos - Huayllay.	55
4.3.2.- Cancha de Relaves N° 1, 2, 3, 4 y 5	56
4.4.- Monitoreo de las aguas ácidas de la unidad minera Huarón.	66

## **CAPITULO V: Mitigación de Aguas Ácidas de la Mina Huarón**

5.1.- Recolección de Agua Acida producto de Relaves	63
5.1.1.- Agua ácida de la cancha de relaves N° 5.	63
5.1.2.- Aguas ácida cancha de relaves antiguos-Huayllay.	65
5.2.- Transvase de Aguas Ácidas del nivel 400 Túnel Trapiche	68
5.2.1.- Las aguas ácidas son recolectadas y Transvasadas de dos maneras para su acumulación.	71
5.2.1.1.-Análisis de Monitoreo de aguas nivel 250 punto (EF-03)	74
5.2.1.2.-Análisis de monitoreo en el Río Anticona Punto (CR-01)	75
5.3.- Trabajos realizados antes de la mitigación	76
5.3.1.- Construcción de dos Pozas de Sedimentación.	76
5.3.2.- Construcción del tanque de Lechada de cal (antes).	77
5.3.3.- Construcción del tanque de Lechada de cal (actual).	78
5.4.- Tratamiento de Aguas Ácidas de la mina con hidróxido de Calcio.	79
5.4.1.- Neutralización	79
5.4.2.- Floculación	83
5.4.2.1.- Dosificación del Floculante	84
5.4.3.- Sedimentación	86
5.5.- Clarificación de las Aguas Acidas	87

5.6.- Vertimiento	88
5.7.- Limpieza de las pozas	91
5.7.1.- Mantenimiento de las pozas de Lodos	91
5.7.2.- Manejo de Lodos en la actualidad	92
5.7.3.- Extracción de Lodos de la poza de Sedimentación	92
5.7.4.- Almacenamiento de Lodos	93
5.8.- Ventajas y Desventajas	94
5.8.1.-Ventajas	94
5.8.2.- Desventajas	94

## **CAPITULO VI: Conclusiones y Recomendaciones**

6.1.- Conclusiones	95
6.2.- Recomendaciones	97
 BIBLIOGRAFÍA	 98
 ANEXOS	 100

# **CAPITULO I**

## **Generalidades**

### **1.1.- Ubicación y Escenario General de la Mina.**

La Unidad Económica Administrativa “Huarón” de la Compañía Minera Huarón S.A. se ubica a 320 km al noreste de Lima y a 36 km al suroeste de la ciudad de Cerro de Pasco en la divisora de la línea continental de la cordillera de los Andes.

Políticamente se ubica en el paraje del cerro Huarón en el distrito de Huayllay, provincia y departamento de Pasco, delimitado por las coordenadas UTM:

**Cuadro Nº 1**

**Coordenadas UTM del lugar de las instalaciones.**

<b>Coordenadas UTM</b>		<b>Cota m.s.n.m.</b>
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	
8 785 000	344 500	4 750
8 785 000	350 250	4 250
8 782 500	350 250	4 350
8 782 500	344 500	4 700

El área de la concesión posee extensos sectores de relieve ondulado formando montañas y quebradas poco accidentadas que contienen vegetación natural (esencialmente pastos) en un nivel de baja densidad.

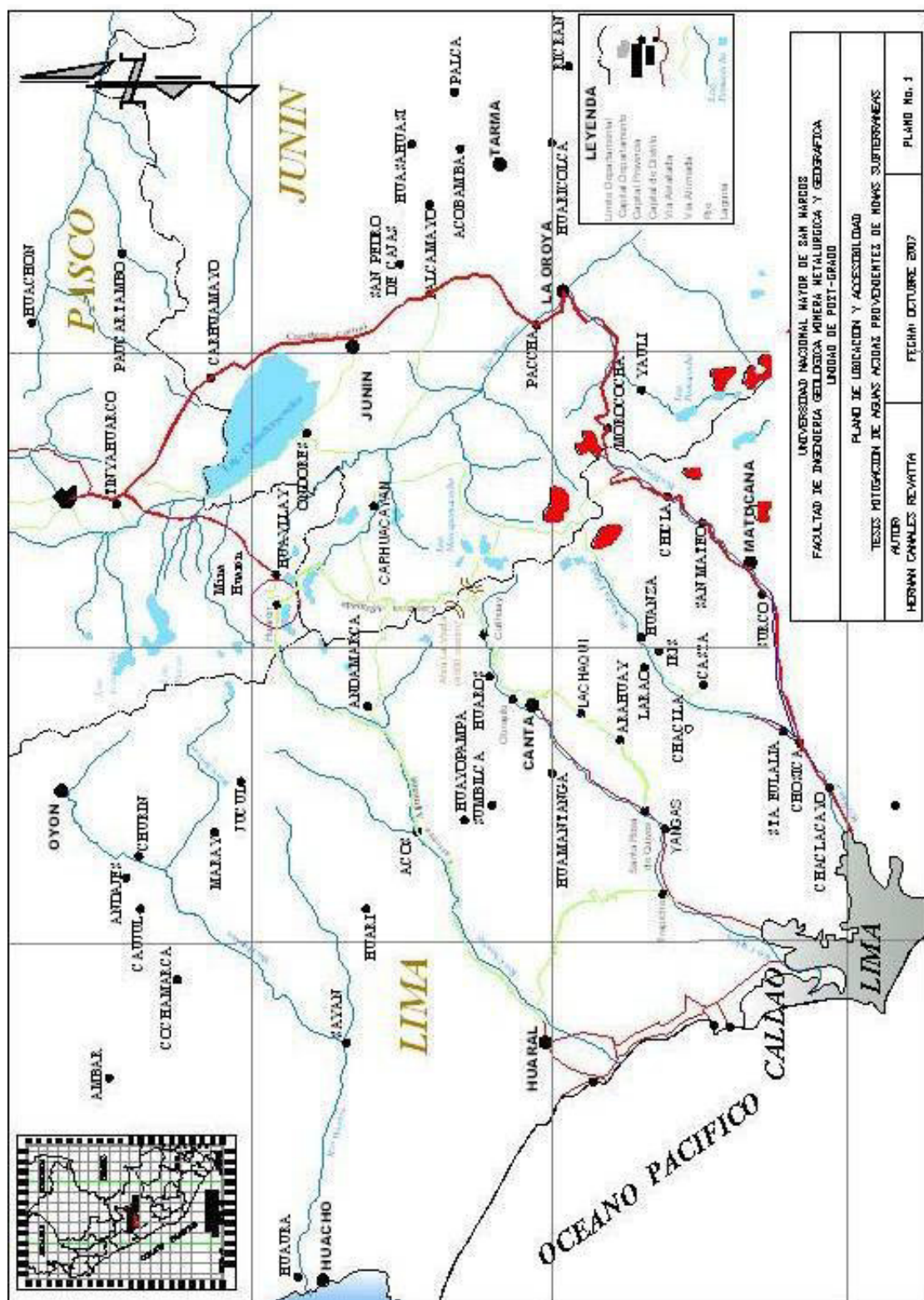
La mina Huarón se dedica a la explotación del recurso mineral y a la producción de concentrados de Cu, Pb, Zn entre otros, asimismo cuenta con zonas tales como:

- ✂ Zona industrial, donde se ubica la planta concentradora y las diferentes instalaciones de servicios para realizar la operación.
- ✂ Zona administrativa, donde se ubican las oficinas de las diferentes áreas, las mismas que están conexas a la zona Industrial.
- ✂ Zona de viviendas, ubicadas en San José, Vista Alegre, Francois y Huayllay.

## **1.2.- Accesibilidad**

La llegada a la mina Huarón se realiza por cuatro vías diferentes desde la ciudad de Lima, se describe a continuación:

- ✂ Primer acceso es por la carretera central Lima - La Oroya – Unish – Huayllay – Huarón con una longitud total de 332 km.
- ✂ Segundo acceso por una carretera afirmada que conecta Lima – Canta – Pampa La Viuda – Huayllay con una distancia de 229 km.
- ✂ Tercer acceso por la carretera afirmada que une Lima – Huaral – Vichaycocha – Antijirca – Huarón con una longitud de 215 km.
- ✂ Cuarto acceso por vía aérea desde Lima a través del aeropuerto de Vico, ubicado a unos 42 km del pueblo de Huayllay para finalmente ser trasladado vía terrestre por la ruta Unish – Huayllay –mina Huarón. Croquis de accesibilidad. Ver Plano N° 1



### **1.3.- Antecedentes de Las Operaciones que Generan el Problema Planteado en la mina Huarón.**

Históricamente, el Yacimiento Minero Huarón fue desarrollado desde la época pre-hispánica, encontrándose vestigios de explotación Inca, así como también por los colonizadores Españoles, quienes inclusive operaron una fundición de plata en el área de San José.

La unidad Huarón es una mina subterránea antigua con vetas angostas de sulfuros de metales mezclados con valores económicos en plata, zinc, cobre y plomo, siendo desarrollada y explotada de manera industrial por: Compagnie de Mines de Huarón, desde 1912 hasta 1987 subsidiaria de la empresa francesa como Peñarroya, produciendo la “enargita” mineral de plata y cobre, luego como compañía minera Huarón S.A. (CMH) de Mauricio Hochschild C.S.A. hasta que se tuvo que paralizar su operación de la mina por inundarse a causa del colapso fortuito de la laguna Naticocha sobre la mina vecina Chungar el 24 de Abril de 1998.

La mina por contener minerales sulfurosos y con la acción del agua y el oxígeno, generan aguas ácidas producto de las operaciones mineras, aguas de filtraciones, aguas usadas en las perforaciones, lavado de frentes y fuga de las tuberías y mangueras respectivamente, ayudan en el arrastre de los minerales sulfurosos drenando por las cunetas hacia los niveles inferiores donde son depositados y luego son bombeados a los canales principales del nivel 400 y nivel 250.

Las aguas de las minas a su vez contienen elementos como: Pb, Cu, Zn, Fe, As, entre otros, donde arrojan valores que se encuentran por encima de los Límites Máximos Permisibles y con pH inferior a 3. Y que al contagiarse con las aguas neutras contamina el ambiente ecológico (plantas y animales), de igual forma las aguas residuales de la planta concentradora son depositados en canchas de relaves son contaminantes y por otro lado al disminuir las aguas en época de sequía, quedan partículas de mineral en la ribera de los ríos y al entrar en acción los

vientos estos son trasladados hacia las praderas contaminando así los pastos naturales.

Por las razones expuestas se realiza el estudio de **“Mitigación de Aguas Ácidas Proveniente de las Minas Subterráneas – Caso Huarón”** para ello se emplean las técnicas modernas y simplificadas.

#### **1.4.- Geología de la mina Huarón.**

Geológicamente las rocas más antiguas que afloran en la Unidad minera son rocas sedimentarias: margas, rodonitas, conglomerados y calcáreos que pertenecen a la formación capas rojas o casapalca del Cretáceo Superior – Terciario Inferior (Oligoceno). En discordancia angular sobre esta secuencia sedimentaria se tiene un paquete volcánico de andesitas y basaltos del Mioceno-Terciario y todo esto conlleva a que la unidad minera Huarón está emplazada en un área geodinámicamente estable como se aprecia en la foto N° 1.

La geología local del asiento minero esta conformada por calizas y lutitas del cretaceo a las que sobreyacen las capas rojas del terciario inferior compuestos por lutitas y areniscas rojas, marrones y verdes. En discordancia angular sobre las calizas y capas rojas se tienen extensos mantos de tufos volcánicos del terciario superior, estos mantos volcánicos son los que conforman el bosque de piedras de Huayllay.

Así mismo los minerales de ganga están constituidas principalmente por: pirita, cuarzo y rodonita.

El yacimiento polimetálico de Huarón está formado principalmente por 3 tipos de estructuras mineralizadas: Vetas, vetas-mantos y bolsonadas, que se encuentran ubicados dentro de un anticlinal asimétrico con eje N-S, habiendo sufrido diferentes etapas de compresión, relajación e intrusiones de diques ácidos.





**Foto Nº 1.-** Cerro Huarón, área de mineral del cual deriva el nombre de la mina.

La mineralización más importante es del tipo filoniano (Vetas) conformado por dos sistemas: Vetas de rumbo Noroeste-Sureste que son Tenantita y Polibasita y las vetas de rumbo Este-Oeste que son angostas con una mineralización de plomo-zinc (Galena, Esfalerita rubia y Marmatita).

Contenido de sulfuros: Esfalerita ( $\text{ZnS}$ ), Galena ( $\text{PbS}$ ), Calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), Pirita ( $\text{FeS}_2$ ) 25% conocido como oro del tonto, Arsenopirita= Sulfocianuro de hierro ( $\text{FeAsS}$ ) un 15%, Pirrotita= sulfuro de hierro ( $\text{FeS}$ ) en un 8%, Estibina ( $\text{S}_3\text{Sb}_2$ ) en un 10% y Marcasita= sulfuro de fierro ( $\text{FeS}$ ) en un 12%.

### 1.5.- Fases del Proceso Minero en la Mina Huarón

**Desarrollo.-** Es el conjunto de trabajos que se realizan en forma horizontal (túneles) en zona estéril o en veta, de acuerdo a los estándares establecidos, de estas excavaciones resultantes de las zonas estériles se extrae el desmonte el que se depositan en la superficie en lugares apropiados conocido como botaderos de desmonte los que con el tiempo forma aguas acidas.

**Preparación.-** Viene a ser la operación de realizar trabajos tanto verticales como horizontales para dividir en bloks de 30 y 60 metros de la estructura mineralizada, preparar sus tolvas (chuts), caminos, etc. denominando tajos. Estos trabajos se realizan en equipo considerando desde Jefe de operaciones hasta obreros.

**La explotación.-** Es otro proceso, que consiste en la rotura del mineral de las labores preparadas (tajos), eligiendo el método de explotación mas adecuado según las dimensiones del yacimiento, en la mina Huarón se aplica el método de explotación de corte y relleno. El trabajo se realiza con apoyo de máquinas perforadoras, stoper, jack-leg y jumbos. Para el funcionamiento de estas máquinas se requiere compresoras para generar aire, tuberías y accesorios, el agua usada en la perforación es de la laguna Llacsacocha.

**El carguío y transporte.-** Esta actividad esta en función del volumen de producción, el carguío se realiza a través de Scooptrams a los buzones y/o tolvas preparadas en tajos ciegos y por medio de volquetes de bajo perfil, carros mineros traccionado por locomotoras a trole o batería en lugares donde se están recuperando el mineral de valor económico y transportado por medio de volquetes a la planta concentradora para su tratamiento, la mina cuenta con una rampa a partir del nivel 500 y otra rampa en la zona satélite como se aprecia en el plano N° 2.

**PLANO DE LABORES MINERAS**

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA METALURGICA Y GEOGRAFICA UNIDAD DE POST-GRADO	
PLANIO DE LABORES MINERAS TESIS MITIGACION DE AGUAS ACIDAS PROVENIENTES DE MINAS SUBTERRANEAS	
AUTOR: <b>HEDMAN D. CANALES REVATTA</b>	FECHA: OCTUBRE 2007
PLANO No. 2	

### 1.5.1.- Proceso Mecánico de Concentración de Minerales

El procesamiento de minerales se efectúa en la Planta Concentradora de flotación llamada “Ingeniero Jorge Bermejo” ubicada en la zona industrial de Francois con capacidad instalada más de 2,000 TM/día, produce concentrados de plomo, zinc y cobre, realizando los siguientes procesos:

- ✎ El mineral extraído de la mina es almacenado en la tolva de gruesos y transportados mediante fajas a las chancadoras.
- ✎ Chancado, es el proceso es llevado en 3 etapas: Chancadora Primaria, de quijada 24” x 36”, chancadora secundaria, Saymons 4x1/4 pies estándar; chancadora terciaria 4 1/4 pies Saynmos Shorket a 3/4”, luego acarreado por fajas al molino.
- ✎ Molienda y Clasificación, se tiene un molino de bolas de 12 x 16 pies, trabaja en circuito cerrado con 2 ciclones de 20, hasta alcanzar malla +65 de 13 a 15 % y malla -200 entre 52 y 55%, hasta 3/4” de aquí pasan a 6 tolvas de finos, luego pasan a los ciclones de clasificación.
- ✎ Flotación, aquí se obtienen productos de Bulk de Cobre y Bulk de Plomo para deprimir el Zinc en 3 etapas rohuger, en este circuito se usa como corrector zantato Z-6, espumante Mivc, depresor del Ferrocianuro de Sodio y como depresor de Zinc sulfato de Zinc.
- ✎ Limpieza bula se efectúa por 4 etapas cleaner para obtener Pre concentrado de Cu y Pb libre posible de Fe, Zn e insolubles.
- ✎ Separación Pb-Cu concentrado bulk con bicromato de sodio, para deprimir el Pb y flotar el Cu. con etapa rafer de separación y una etapa Scavenger de Zn para la separación, el relave es de Pb.
- ✎ Las espumas del rafer de separación pueden tener hasta 5 etapas de limpieza de Cu. y obtener concentrado de Fe, Zn, Pb insolubles y obtener solo Cu y Ag.
- ✎ Circuito bulk de Zinc llega a 3 etapas donde se agrega sulfato Cu para activar los minerales de Cu; utilizando los reactivos: sulfato de Cu, cal para modificar el pH (11), colectores, Xantatos Z-6, Aerofloat AR de Na, como espumante. Mivc, el relave del rafer Scavenger de Zinc, es el

relave final, las espumas del rafer de Zn, van a 4 etapas de limpieza y obtener un concentrado de Zn de 50% de calidad.

- ✍ Espesado y filtrado, para ello disponen de espesadores para concentrado de Pb, Cu y Zn son filtrados en filtros de discos de 6 pies, 3 c/u humedad promedio 8, 9.5 depende de la granulometría del elemento. Se obtienen concentrados de: Pb, Cu, Zn y otros.

**Uso de los relaves gruesos.-** Los relaves gruesos, son enviados a los tajos vacíos (espacios abiertos) para rellenar los blocks ya explotados o vaciados de mineral, se realiza para evitar derrumbes de las cajas del block o caída de rocas del techo por espacio abierto.

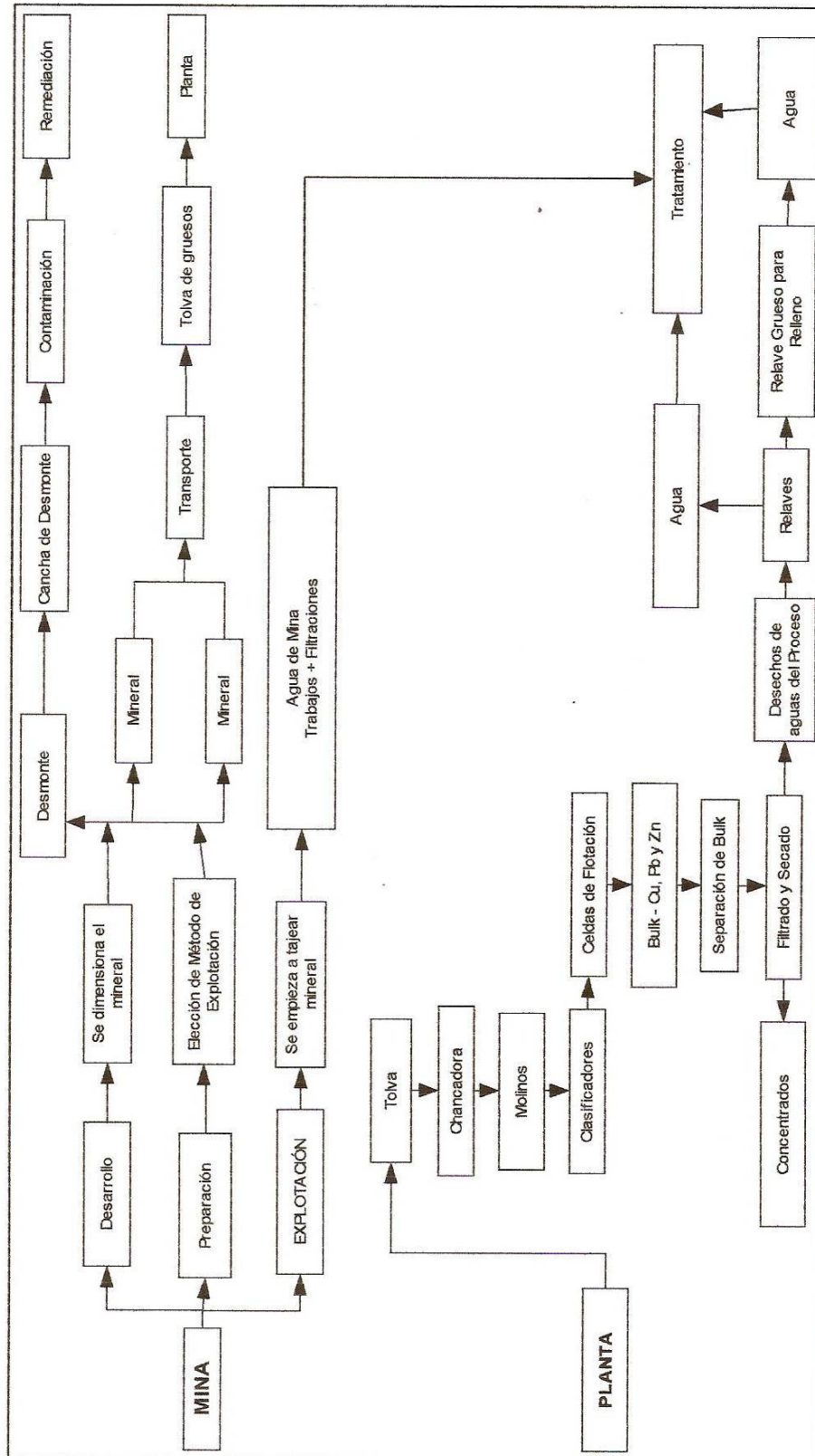
**Comercialización.-** El producto de la planta concentradora, metales de Plomo, Cobre y otros, son fundidos en la empresa Doe Run Perú - La Oroya - y los minerales de Zinc, son refinados en la fundición de Cajamarquilla y posteriormente su comercialización el cual es el proceso de venta de minerales que realiza la compañía. Obsérvese foto N° 2, planta concentradora.



**Foto N° 2.-** Planta de tratamiento de minerales en mina Huarón.



## DIAGRAMA DE LOS PROCESOS MINEROS: MINA Y PLANTA



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGICA, MINERA METALURGICA Y GEOGRAFICA UNIDAD DE POST-GRADO		
DIAGRAMA DE PROCESOS MINEROS: MINA Y PLANTA TESIS: MITIGACIÓN DE AGUAS ÁCIDAS PROVENIENTES DE MINAS SUBTERRÁNEAS		
AUTOR: HERNÁN O. CANALES REVATTA	FECHA: OCTUBRE 2007	PLANO No.: 3

## 1.6.- Marco Legal

El marco legal contempla las principales Normas Legales Vigentes:

- ✍ D.S. N° 014-92-EM Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería.
- ✍ D.S. N° 016-93 EM, Reglamento para la Protección Ambiental en las actividades minero- metalúrgicas.
- ✍ R.M. N° 011-96-EM/VMM Límites Máximos Permisibles para efluentes líquidos minero metalúrgicos.
- ✍ Ley N° 28611. Ley General del Ambiente.
- ✍ Ley 27474. Ley de Fiscalización de las Actividades Mineras.
- ✍ D.S. 049-2001-EM. Reglamento de Fiscalización de Actividades Mineras
- ✍ R.M. N° 353-2000-EM/VMM, Aprueban escala de multas y penalidades a aplicarse por incumplimiento de disposiciones del T.U.O. Ley General de Minería y sus normas reglamentarias.
- ✍ D.Ley. N° 17752 Ley General de Aguas que establecen los límites para proteger el agua superficial según la clasificación de usos.
- ✍ R.M. N° 315-96-EM/VMM Niveles Máximos Permisibles para determinar la Calidad Ambiental del Aire.
- ✍ D.S. N° 074-2001-PCM. Reglamento de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire.
- ✍ D.S. N° 022-2002 EM. Modifican Reglamento para la protección ambiental de las actividades minero metalúrgicas.
- ✍ D.S. N° 085-2003-PCM. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido en niveles de presión sonora.
- ✍ Ley General de Residuos Sólidos N° 27314 y su Reglamento.
- ✍ R.S. N° 004-94-EM/DGAA Aprueban la publicación de las Guías de Monitoreo de Agua y Aire para la Actividad Minero – Metalúrgica.
- ✍ D.S. N° 007-83-SA Modifican Ley General de Aguas en sus Títulos Clase I, Clase II y Clase III.

## **CAPITULO II**

### **Diseño de Investigación**

#### **2.1.- Carácter Novedoso del Proyecto - Originalidad de la Investigación**

En vista de tener un yacimiento minero que esta generando aguas ácidas durante las operaciones y la necesidad de verter aguas neutras al cause principal con el propósito de restaurar el nivel de vida y suelos a lo largo del curso del río San José de acuerdo a los valores limites permisibles que establece la Ley General de Aguas Clase III, y la R.M. N° 011-96-EM/VMM límites máximos permisibles para efluentes líquidos minero metalúrgicos.

La tecnología de mitigación que se emplee en la presente investigación puede favorecer a otras empresas de la región o a nivel del Perú, y su aplicación logre evitar la contaminación de la zona donde están ubicadas las operaciones mineras, para ello se aplicara la técnica de tratamiento más apropiado, el trabajo que se desarrolla se encuentra en la parte norte de la cuenca del río Mantaro.



## **2.2.- Aportes a la Sociedad la Ciencia y la Tecnología**

**2.2.1.- Sociedad.-** La mitigación o reducción de la contaminación que genera el drenaje ácido de las minas es necesario para favorecer el desarrollo sostenible porque los terrenos que utilizan los habitantes del entorno, deben ser libres de contaminación, el agua debe ser limpia, sin contenido ácido o minerales pesados.

**2.2.2.- Ciencia.-** Desde el punto de vista científico, es necesario investigar los factores que favorecen la formación y generación de aguas ácidas y evitar la contaminación; para ello existen técnicas que se aplican para evitar el contacto del con el aire con los sulfuros que se han descubierto por efecto de la explotación subterránea o por efecto de la apertura de galerías, chimeneas y otros trabajos.

**2.2.3.- Tecnología.-** Para la mitigación existen una serie de técnicas que se debe emplear, los más conocidos son los tratamientos activos y tratamientos pasivos dependiendo del caudal del drenaje ácido de las galerías, del depósito de desmonte y las canchas de relaves.

## **2.3.- Sustentación del Tema**

La actividad minera, es otra de las industrias que más contamina el medio Ambiente, basta revisar las minas que operaban antes de la dación del Decreto Supremo 016-93-EM, reglamento para la protección ambiental en las actividades minero-metalúrgico y los recursos naturales, que al finalizar las operaciones simplemente lo abandonaban como: bocaminas, chimeneas, inclinados, depósitos de desmonte, los trabajos de exploraciones y canchas de relaves, que con el tiempo se oxidan y al entrar en contacto con el agua de lluvias forman aguas ácidas, por infiltración los que vienen a causar impacto negativo que causan las aguas ácidas al ser vertidas a los cuerpos receptores (ríos, lagunas, etc) sin ningún

tratamiento, muchas veces produce efectos irreversibles a nuestra flora, fauna y a la biodiversidad existente. Por tal motivo es obligación de la empresa mitigar y controlar el vertimiento de estas aguas antes de ser volcadas a las fuentes de aguas naturales para evitar daños irremediables a nuestra salud y al ecosistema.

Por ello es perentorio neutralizar el pH del agua, reducir los metales que contienen el drenaje ácido y total de sólidos en suspensión, hasta alcanzar los límites máximos permisibles establecido por el ministerio de Energía y Minas y la Ley General de Aguas Clase III.

## **2.4.- Antecedentes**

**G. Agrícola (1556)**, La generación de efluentes ácidos de mina es un problema común en los yacimientos polimetálicos peruanos que requiere atención, el problema del drenaje ácido de mina no es nuevo y tampoco es un problema local de corta duración como es el caso del drenaje ácido de la mina río Tinto (España) el cual persiste hasta la actualidad.

A razón de esto, las empresas mineras inician a tratar las aguas, instalando plantas de tratamiento como a continuación se describen:

En 1929, la “Cerro de Pasco Corporation” inició la construcción del túnel Kingsmil de aproximadamente 11.5 Km de longitud, concluido en 1934, con objeto de coleccionar las aguas ácidas producidas por las labores mineras del distrito de Morococha, a modo de drenaje, por tal motivo Centromin realizó los estudios de impacto ambiental y propuso el tratamiento de las aguas ácidas del túnel Kingsmill, utilizando la tecnología más adecuada para obtener una buena calidad de agua, a la fecha quedó solo en proyecto.

**Mina Quiruvilca**, Por la década del 90, se construyó una planta de neutralización de aguas ácidas mediante el sistema de Lodos de Alta Densidad High Density Sludge, (HDS), esta tecnología fue evaluada desde proyecto piloto para confirmar la aplicación del sistema de Lodos de Alta Densidad y mejorar la calidad del agua ácida drenada de las operaciones

mineras captadas por el túnel principal Almirvilca, esta planta fue una de las primeras instaladas en el Perú, es copia de una canadiense, el costo de tratamiento en estas las plantas son altos.

**Cajamarquilla.-** Planta de neutralización de aguas ácidas mediante el sistema de Alta Densidad de Lodos High Density Sludge, (HDS)

**Mina Yauricocha.-** Cuenta con una planta de tratamiento de aguas de mina con el uso de floculantes y coagulantes por tener solo sólidos totales en suspensión (TSS), que drenan por el canal del túnel Kepletko.

### **Planta de Neutralización de aguas ácidas de Volcán Compañía Minera S.A.A.**

Esta planta se ubica en la zona de Garacalzón 2, del distrito Simón Bolívar, provincia y departamento de Cerro de Pasco.

Por el caudal y característica del agua ácida de mina subsuelo (solución barren) son recolectadas en el nivel 2100 para ser bombeados al nivel 1200 y luego a superficie por el pique Excelsior y por gravedad hacia la poza de aguas ácidas de Garacalzón 2 con pH de 0.46, donde se neutralizan, cuenta con el sistema de Neutralización de Alta Densidad (HDS), con adición de cal y reciclado de lodos al tanque de recepción.

**C. Villachica y otros (2005),** En Cerro de Pasco el agua de mina es tratada en una planta convencional inicialmente diseñada como Alta densidad de lodos (HDS), CONSULCONT tiene diseñado la planta de tratamiento NCD para un efluente con una acidez extrema (pH 0.45) que establece el tratamiento de efluentes ácidos del ahorro obtenido frente a la tecnología convencional o HDS del 70%.

El agua de mina de Cerro de Pasco, con un caudal promedio de 150 L/s, tiene un pH en el orden de 2.3 y contenidos elevados de Zn y Fe. Este efluente actualmente es tratado en una planta de neutralización de baja densidad y donde el efluente cumple con las regulaciones ambientales pero demanda un costo sumamente alto de cal.

## **Minera Yauli**

La Planta de tratamiento (NCD) del Túnel Victoria se encuentra a 8 Km. Antes de la unión con el Túnel Kingsmill. de la Empresa Volcán ubicada en Yauli, a la fecha viene tratando sin dificultades las aguas acidas, donde el costo fue de 04 veces menor que el equivalente HDS (alta densidad de sólidos), el río Yauli inicia a retomar el color claro y después de 70 años de contaminación al río Mantaro, planta diseñada por la empresa Consulcont S.A.C. y el proceso de NCD, fue desarrollado por Smallvill S.A.C.

## **Guía Ambiental para el manejo de drenaje ácido de minas. Volumén IV. Mayo 1995,**

El fenómeno de drenaje ácido proveniente de minerales sulfurosos es un proceso que ocurre en forma natural. Hace cientos de años, se descubrieron muchos yacimientos minerales por la presencia de agua de drenaje rojiza, indicando la presencia de minerales sulfurosos.

Con respecto al drenaje ácido de mina en el Perú, la preocupación fundamental sería los niveles elevados de acidez, sulfato, niveles de hierro y cobre y la lixiviación de otros metales asociados con el mineral sulfuroso. La preocupación ambiental con respecto al DAR, generalmente, es el impacto adverso de los contaminantes, particularmente los metales disueltos, en la vida acuática del medio receptor y en la calidad del agua para beber.

**Daniel F. Lovera Dávila (Junio 2001):** Actualmente están desarrollando tecnologías para el tratamiento de drenajes ácidos de mina (DAM), drenaje ácido de rocas (DAR) y otros efluentes industriales, que están ocasionando contaminación de aguas y suelos. El autor muestra el estudio experimental de pruebas de rocas ácidas en columnas de percolación, en el cual tratan de reproducir lo que ocurre en las minas peruanas, esto nos lleva a simular las variables principales que están involucradas: flujos de alimentación y percolación, acidez de solución en el tiempo, contenido metálico en la solución, altura del lecho, composición mineralógica y la granulometría de las rocas ácidas.

### **Biogeoquímica y Fases Mineralógicas en Drenajes Ácidos de Mina.**

**Oswaldo Aduvire, Hugo Aduvire – (Julio 2005).** En este trabajo se observa el estudio de las características geoquímicas y microbiológicas de los drenajes de mina, de igual manera el estudio de la correlación entre pH, potencial redox, relación  $\text{Fe}^{+2}/\text{Fe}$  total, contenido de oxígeno y carga metálica, se identifican las distintas fases químicas de hierro ( $\text{Fe}^{+2}$  y  $\text{Fe}^{+3}$ ) y aluminio ( $\text{Al}^{+3}$ ) presentes en las aguas, los minerales secundarios formados en estas condiciones, así como la actividad bacteriana presente y su incidencia en la generación o no generación ácida.

### **Biorremediación de Drenajes Ácidos de Mina (DAM), mediante el sistema de Humedales.**

**Palomino Cárdenas Edwin, Paredes Vílchez Marcell, Villanueva Ríos Aynor. (Julio 2005).** Frente a la problemática ambiental por los pasivos mineros, los drenajes ácidos de mina (DAM) y drenajes ácidos naturales en el Callejón de Huaylas, el equipo de trabajo viene optimizando alternativas nacionales de biorremediación de DAM viables desde 1999. a nivel de laboratorio, se probó el efecto del lodo de desagüe y humus de lombriz, para recuperar las variables fisicoquímicos y químicos del DAM.

Observaron mejores resultados con 20% de lodos y 35% de humus, el DAM inicial arrojó los siguientes valores: pH 2.39, sulfatos 715 ppm, Fe 22 ppm, Pb 16.35 ppm, Cu 5 ppm; después de 90 días, la recuperación fue: pH 7.23, Sulfatos 16.5 ppm, Fe 0.1 ppm, Pb 2.37 ppm, Cu 0.1 ppm. El DAM tratado con 20% de lodo y 35% de humus no mostró toxicidad en los bioensayos realizados con *Raphanus sativus* ni con *Allium cepa* L. Con esta experiencia programó un nuevo ensayo en la cancha de relaves Mesapata.

Empleando esta nueva técnica se llega a contribuir en mejorar la calidad de los drenajes ácidos de mina (DAM), en sus parámetros fisicoquímicos y químicos y demostrar que las aguas tratadas con este sistema son aptos para la formación sostenible de vegetales.

**Villanueva (2003)**, complementa la investigación realizada en esta prueba de bioensayos, utilizando el cultivo de rabanito mostrando evidencias que esta agua ya tratada por biorremediación son aptas para el riego agrícola al menos de vegetales como el rabanito.

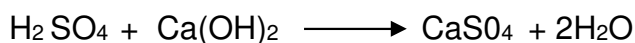
## **2.5.- Formulación y Planteamiento del Problema**

El agua es el recurso natural más importante en el proceso de explotación, extracción y concentración de minerales dentro de una operación minera, tal es así la generación de las aguas ácidas producto de las operaciones mineras, esto por contener minerales sulfurosos dentro de la formación mineralógica.

Sabemos que los efluentes mineros – metalúrgicos generadas durante una operación minera activa y aun en abandono. Las aguas ácidas eran vertidas a los cuerpos receptores (ríos, lagunas, etc.) sin ningún tipo de tratamiento causando impactos negativos al ecosistema. Actualmente con las normas existentes las empresas están obligadas a mantener la concentración de sus elementos en los efluentes líquidos minero metalúrgico, dentro de los límites máximos permisibles D.S. 011-96 EM/VMM y la Ley General de Aguas Clase III.

Sin embargo existen muchas empresas que a pesar de tener conocimiento del efecto contaminante que causa el verter aguas ácidas sin tratamiento vienen incumpliendo la normativa existente y causando impactos al medio ambiente.

Es así que para mitigar y controlar la contaminación ambiental por el vertimiento de aguas ácidas de las operaciones mineras es necesario contribuir con la investigación de nuevas técnicas de tratamiento de aguas para ser vertidas al medio ambiente sin temor a contaminar.



## **2.6.- Planteamiento**

¿Cuáles son los problemas de mitigación de aguas ácidas en la mina Huarón?

¿Cuáles son los impactos ambientales que producen las operaciones mineras en su entorno?

¿Es posible mitigar?

## **2.7.- Hipótesis**

Las diferentes compañías mineras en el proceso de explotación generan la contaminación de las aguas acidas de filtración o las aguas que se emplean en las operaciones mineras (perforación, regado, relleno hidráulico y otros), no favorece el desarrollo sostenible del entorno donde se encuentra la unidad Minera.

Los efluentes mineros generados por la actividad minera, para el caso específico se ha elegido la compañía minera Huarón, estas serán tratadas mediante la técnica de tratamiento Activo con hidróxido de cal Neutralización y Floculación, para luego ser vertidas las aguas de acuerdo a la Ley general de Aguas Clase III, para uso de Agricultura.

## **2.8.- Objetivos:**

### **2.8.1.- Objetivo General**

Analizar el grado de contaminación que se ha generado para luego aplicar la tecnología específica para la mitigación correspondiente.

### **2.8.2.- Objetivos Específicos**

- ✎ Identificar las causas que genera el impacto ambiental.
- ✎ Proponer una Tecnología de Tratamiento de las aguas ácidas provenientes de las labores mineras que drenan por las bocaminas que estén de acuerdo a los estándares de calidad antes de verter al río San José.

- ✎ Mitigar los impactos de aguas acidas producidas por las operaciones mineras por medio del Tratamiento Activo.

## **2.9.- Metodología**

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se realizará las siguientes actividades:

- ✎ Revisión bibliográfica acerca de los estudios efectuados como antecedentes sobre tratamiento de aguas ácidas.
- ✎ Análisis y Estudio de:
  - 1.- Evaluación Ambiental Preliminar – EVAP.
  - 2.- Programa de Adecuación y Manejo Ambiental - PAMA
  - 3.- Programa de Evaluación Medio Ambiental – PEMA.

Revisión de planos ecológicos, topográficos, explotación, ambientales entre otros del área minera tanto superficial como subterránea.

- ✎ Visita al campo para ser inspeccionado físicamente las áreas de trabajo y diseñar los proyectos de cambios.
- ✎ Recopilación de la información.
- ✎ Verificación de fuentes de origen y descarga de los efluentes.
- ✎ Revisión de los resultados de monitoreo durante la investigación.
- ✎ Procesamiento de la información básica.
- ✎ Evaluación de la información recopilada.
- ✎ Elaboración de la Tesis.

## **2.10.- Limitaciones en el Estudio**

Por política de la empresa no fue posible la obtención de la información y por otro lado se dice que no fue posible la continuidad de la información de los análisis de la toma de muestras por los problemas que surgieron, la inundación de la Laguna Naticocha de la mina vecina Animón (Chungar) y posteriormente el cambio de nuevos propietarios.



## 2.11.- Marco Teórico

### 2.11.1.- Agua Acida

Agua que contiene una cantidad de sustancias ácidas que hacen al pH estar por debajo de 7,0, el agua ácida tiene un número mayor de iones de hidrógeno que de iones de hidróxido. Por ejemplo, el número de iones de hidrógeno en agua ácida con pH 4 es  $10^{-4}$  veces N y la de iones de hidróxido es  $10^{-10}$  n veces N. La ley de la naturaleza establece que los exponentes suman 14 ( $4+10$ ). El número de iones de hidrógeno en agua alcalina, con pH 9, es  $10^{-9}$  veces N. Observe que  $10^{-5}$  es mayor 10,000 veces que  $10^{-9}$  y tenemos que  $5+9 = 14$ .

#### 2.11.1.1.- Tipos de agua ácida

**Agua ácida de mina.-** El drenaje ácido producto de las operaciones en la mina, es el agua contaminada que resulta de la oxidación de minerales sulfurados y lixiviación de metales asociados, provenientes de las rocas sulfurosas cuando son expuestas al aire y al agua, se generan dos tipos de aguas ácidas: las neutras que nacen de las infiltraciones del lado sur del yacimiento y las barren o drenaje ácido de la mina que se originan al pasar el agua de infiltración por zonas mineralizadas.

**Agua de mar.-** El agua de mar no es adecuada para producir concreto reforzado con acero y no deberá usarse en concreto reforzados debido al riesgo de corrosión del esfuerzo, particularmente en ambientes cálidos y húmedos. El agua que se utiliza para producir concreto, también tiende a causar eflorescencia y humedad en superficies de concreto expuestas al aire y al agua.

**Aguas ácidas.-** Viene a ser la mezcla que contiene ácidos: clorhídrico, sulfúrico y otros ácidos inorgánicos comunes en concentraciones inferiores a 10,000 ppm que no tienen un efecto adverso en la resistencia.

**Agua de lluvia ácida.-** Conocemos como agua de "lluvia ácida", a cualquier agua de lluvia cuando el pH es mucho más bajo de lo normal (5.5), algunas lluvias llegan a pH de 4,2 - 4,3, lo que indica un grado de acidez muy alto.

**Aguas alcalinas.-** Son aguas con concentraciones de hidróxido de Sodio de 0.5% el peso del cemento.

**Aguas de enjuague.-** La Agencia de Protección Ambiental y las agencias estatales de los EEUU prohíben descargar en las vías fluviales aguas de enjuague no tratadas que han sido utilizadas para aprovechar la arena y la grava de concretos retornados o para lavar las mezcladoras.

**Aguas de desperdicios Industriales.-** La mayor parte de las aguas que llevan desechos industriales tienen menos de 4,000 ppm de sólidos totales. Cuando se hace uso de esta agua como aguas de mezclado para el concreto, la reducción en la resistencia a la compresión no es mayor que del 10% al 15%.

**Aguas negras.-** Las aguas negras típicas pueden tener cosa de 400 ppm de materia orgánica. Luego que estas aguas se han diluido en un buen sistema de tratamiento, la concentración se ve reducida en un aproximado de 20 ppm o menos.

**Agua neutra.-** Se denomina a las aguas que por lo general contiene un pH = 7 es neutra, es decir, ni es ácida ni es alcalina.

**2.11.2.- Generan.-** El agua es el elemento fundamental en la formación de aguas ácidas de mina, se origina al pasar el agua de infiltración por zonas mineralizadas, en presencia de aire y bacterias, actúa como reactivo en la oxidación de la pirita, la cual se encuentra tanto en el mineral como en la roca encajonante.

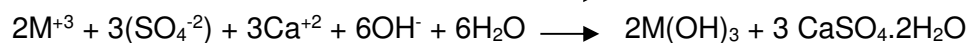
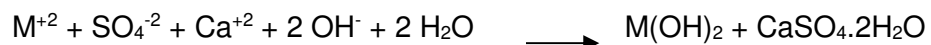
Las aguas ácidas se generan cuando las aguas neutras entran en contacto con material piritoso, produciéndose agua que posee niveles altos de acidez y que es dañino para el ser humano y el ambiente.

### 2.11.3.- Mitigación

Se indica al conjunto de medidas que se pueden formar para contrarrestar o minimizar los impactos ambientales negativos que logran tener algunas intervenciones andrógenas, estas medidas deben estar consolidadas en un plan de mitigación.

### 2.11.4.- Tratamiento

Objetivo de este tratamiento es corregir el pH y precipitar los metales disueltos en el drenaje, pueden ser tratados con algún medio básico como la cal, la casi completa precipitación de los metales como hidróxidos en el proceso de neutralización es de acuerdo a las siguientes reacciones:



Los productos de estas reacciones son precipitados de hidróxidos metálicos y sulfatos de calcio (GYPSUM) llamados lodos o (sludge).

La presencia de gypsum es parcialmente responsable por la estabilidad química de los lodos producidos, una incompleta oxidación durante el proceso puede resultar en una inestabilidad química de los lodos formados y puede ocurrir una disolución de metales con la consiguiente producción de agua ácida.

### 2.11.5.- Técnicas,

La tecnología probada para el tratamiento químico (activo) de drenaje ácido se conoce con el nombre de Neutralización Y Floculación, la cual permite alcanzar tres objetivos:

- Neutralizar la acidez.
- Precipitar e hidrolizar metales pesados.
- Separar sólidos suspendidos como el arsénico y otros elementos mediante precipitación y clarificación.

**2.11.6.- Impactos Ambientales,** Son cambios que se realizan, tanto positivos como negativos del medio ambiente. Los impactos son cosas como un cambio en la temperatura media de un arroyo debido al vertido de efluente, acidificación del aire a causa de emisión de gases de combustión, contaminación o degradación del terreno como resultado de eliminación de residuos.

**2.11.7.- Impacto Social,** Las aguas de la laguna principal Llacsacocha tendría la posibilidad de acidificarse y con ello arrastrar iones metálicos en solución al ser descargadas, asociándose a los elementos contaminantes que se encuentran en el recorrido caso de los relaves, causaría deterioros de la vegetación y contaminación del suelo aguas abajo, atentando con los abrevaderos de los animales de los pobladores de Huayllay, Canchacucho y otros pueblos.

**2.11.8.- Impactos de la Minería**

Los impactos abarcan desde la exploración, la extracción, procesamiento de mineral y pueden continuar después del cierre.

La ubicación de la zona mineralizada impone restricciones en el método de minado, instalaciones, requerimientos de infraestructura y métodos de disposición de desechos, esto a su vez influye en los impactos ambientales, sociales y de salud y la factibilidad económica; Sin embargo, el impacto más preocupante sería la contaminación del agua subterránea de la región, el uso de esta agua es fundamental para el desarrollo de las actividades agrícolas

**2.12.- Definición de Términos Básicos**

**Drenaje.-** Diseño o trazo efectuado por aguas de escorrentía o fluviales que modelan el paisaje; al conjunto de estos diseños o trazos se les denomina “Patrones de drenaje”.

**Infiltración.-** Capacidad de penetración de las aguas (de lluvia) en las rocas / suelos, o de cualquier otro fluido. La infiltración depende de la

permeabilidad de las rocas y de la cantidad de agua de lluvia que cae sobre una determinada región.

**Lixiviación.-** Procesos de lavado a las rocas, minerales y suelos por aguas de precipitación pluvial pasar por permeabilidad o percolación de la superficie al subsuelo.

**Vertimiento.-** Viene de verter, acción de derramar líquido o cosas menudas, melina una vasija para vaciar su contenido (sólido, líquido, gases) corren un líquido por una vertiente.

**Lechada.-** Mezcla acuosa de material insoluble que resulta a partir de algunas técnicas de control de la contaminación. El óxido de calcio al combinarse con el agua forma el hidróxido de calcio.

**Floculante.-** Sustancia coagulante que al ser añadida al agua forma un precipitado floculante que arrastra la materia en suspensión y acelera su sedimentación, ejemplos: alumbre, sulfato ferroso y la cal.

**Paramosoles.-** En las alturas andinas sobre los 4,000 msnm, donde existen buenos suelos, pero el uso agrícola es limitado por el frío, imperan los suelos ricos en materia orgánica y ácidos (paramosoles)

**Abrevaderos.-** Son espacios reservados en los que está vedada la realización de cualquier otra actividad que contribuya a deteriorar la calidad de las aguas (lavar lana, enrilar lino, etc.),

**Gypsum.-** Es un compuesto de sulfato de calcio, que contiene entre 20-25% de calcio, el suelo gypsum intercambiara con los iones de sodio de las partículas de arcilla. El contenido de sulfato en el gypsum es también beneficioso para el césped o grama.

**Neutralización.-** Este método consiste en la corrección del pH de las aguas y como la mayoría son ácidas, la neutralización se efectúa por adición de una sustancia alcalina, como cal hidratada.

**Raise Borer.-** Son equipos de perforación por lo general de arriba hacia abajo con un piloto y luego se cambia el piloto por un cortador de mayor diámetro rimando el taladro de abajo hacia arriba.

**El pH.-** Es la concentración del ión hidrógeno en el agua y es utilizado como índice de alcalinidad o acidez.

## **CAPITULO III**

### **Estudio de los Componentes Ambientales de la Zona**

#### **3.1.- Aire**

En la mina Huarón se tiene una temperatura que varia de 5º C a 13º C durante el día y – 6º C en las noches, los vientos locales toman la dirección de noreste al sur este y variada durante el año, con una velocidad promedio de 14 km/h. entre los meses de junio a octubre.

Algunos elementos metálicos libres son susceptibles al viento donde en época de sequía son transportados de la rivera del río, borde de los depósitos de relaves y otros lugares hacia los bofedales y pastizales y posteriormente en periodo de lluvias, mientras que los contaminantes del aire como el dióxido de azufre puede también constituirse en contaminantes del agua precipitando en forma de lluvia ácida.

Para conocer el comportamiento del aire se realizó el monitoreo de aire por medio del equipo PM-10, en los puntos indicados por la actividad minera, cuyos resultados de estos ensayos y analizados por (PM-10, Pb y As) se encuentran dentro Límites Máximos Permisibles de acuerdo a la R.M. N° 315-96-EM/VMM y los Estándares Nacionales de calidad Ambiental del Aire (ENCA) establecido en el D.S. N° 074-2001-PCM, la foto N° 3 nos indica el monitoreo de aire en la zona Industrial.

## Cuadro N° 2

### Concentración de Elementos Metálicos, Plomo, Arsénico y Partículas en Suspensión PM-10

Fecha	Ubicación del Punto de Muestreo	Concentración (ug/m <sup>3</sup> N)		
		Pb	As	PM-10
09-10 /07/ 2006	Por la zona industrial	0.01	0.006	38
10-11/07/ 2006	distrito de Huayllay - garita de San José	0.03	0.011	37
NMP R.M. N° 315 -96 EM/VMM		0.5	6	350
D.S. N° 074-2001 PCM - ECA		1.5	---	150

Fuente: Cía. minera Huarón.

\*NMP normados por R.M. N° 315-96 EM/VMM y D.S. N° 074-2001 PCM.



**Foto N° 3.-** Equipo monitoreando la calidad de aire en la zona Industrial.

### 3.2.- Ruido

#### Límites Máximos Permisibles de Ruido

Actualmente, el nivel de ruido está regulado solamente por el Reglamento de Seguridad e Higiene Minera (D.S. N° 046-2001-EM del 26/07/2001), el cual indica que se proporcionará protección auditiva cuando el nivel de ruido o el tiempo de exposición sea superior a los valores mostrados en el cuadro adjunto.

**Cuadro N° 3**

#### Niveles Máximos Permisibles de Ruido

Nivel de ruido (decíbeles)	82	85	88	91	94	97	100	140
Exposición (horas/día)	16	8	4	1 ½	1	½	¼	0.00

Fuente: Ministerio de Energía y Minas.

### 3.3.- Agua

#### 3.3.1.- Agua Superficial.

Están comprendidas entre las cotas 4,000 a 4,850 msnm, donde se ubica la Mina, encontramos una gran variedad y cantidad de depósitos de agua, de régimen permanente o temporal y diferentes tamaños (lagunas), aumentando su volumen en época de lluvias por medio de escorrentías en toda la zona; el agua de lluvia son atrapados por los pastos para luego realizar la percolación al subsuelo.

La actividad industrial es otra fuente de contaminación a gran escala con el uso de metales pesados como (Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni, Hg, Co, Ag, Au, As, U), en el medio ambiente por contaminación de los acuíferos y aguas superficiales, pudiendo comprometer seriamente el uso de este recurso como fuente de agua para el consumo humano, animales y plantas.

Al igual que los residuos sólidos dispuestos en forma inadecuada sobre el suelo son también una fuente de contaminación de las aguas superficiales o subterráneas.



El agua que utiliza la compañía minera Huarón proviene de la laguna Llacsacocha (se ve en la foto N° 4), se encuentra a 4 580 msnm al suroeste del campamento Francois, parte de las aguas de la laguna Llacsacocha son derivadas a una poza de cloronación para su tratamiento y consumo humano a la zona de Huarón, también es utilizada como agua industrial.



**Foto N° 4.-** Laguna LLacsacocha ubicada en la parte alta de Francois.

Las aguas utilizadas gradualmente desembocan en el río San José, que atraviesa toda la zona minera de oeste a este y constituye la fuente natural de agua más importante de la zona, la cual en su trayectoria recibe el aporte de algunos afluentes así como de vertimientos (aguas servidas del campamento Francois y el drenaje de la planta concentradora) con diferentes calidades y concentraciones, que llegan a contaminar las aguas neutras.

### **3.3.2.- Agua derivada de la Cancha de Relaves N° 5.**

La salida del agua de la planta también se canaliza a los relaves, el agua de los relaves son decantados en forma natural y posteriormente son derivados a través de las quenas al río San José como se muestra en la foto N° 5.

El volumen de agua que se descarga del depósito de relaves es de 8 724.79 m<sup>3</sup>/día (100.98 L/S) y los valores límites permisibles de acuerdo a la Ley general de aguas Clase III y los límites máximos permisibles de la R.M. 011-96 EM/VMM para efluentes mineros.



**Foto N° 5.-** Aguas decantadas de los relaves que están drenando por las quenas y son descargadas al cause del río San José.

### **3.3.3.- Aguas derivadas de Labores Subterráneas**

Al producirse las aguas de escorrentías estos se infiltran por los tajos, chimeneas y raise borer, rellenos hidráulicos, trabajos de perforación en interior mina y aguas freáticas hacia las labores mineras modificando el drenaje natural de las aguas neutras, oxidan al entrar en contacto con el aire y los sulfuros.

Las aguas que se generan en la Mina Huarón, esta incluidos desde los niveles superiores de Animón, Zona Cometa, Tapada, Pozo Bardet, Traviezo, Rampa 30, Zona LLacsacocha.

Zona Sevilla.- niveles 600, 650, 700 y 750.

Zona Sur, Zona Norte y Zona Central por los niveles:

Nv. 570, 530, Rampa Kosmos Nv. 500, Nv. 450, Nv. 400, Nv.375, Nv. 340, Nv. 250 hasta los niveles inferiores del nivel 250. y el Nv. 200 que se encuentra por debajo del Nv. 250, el conjunto de labores se aprecia en el plano N° 2 y las aguas drenan por los canales principales de los niveles 400 (túnel Trapiche) y nivel 250 (Túnel Paúl Nevejans) como se observa en el plano N° 3.

De los depósitos de relaves y desmontes, drena agua ácida por acción de las lluvias por contener metales pesados hacia las cuencas.

Los minerales principales extraídos son:

Pirita	⇒	FeS <sub>2</sub>
Calcopirita	⇒	CuFeS <sub>2</sub>
Blenda	⇒	ZnS
Galena	⇒	PbS

### **Contaminación de las aguas.-**

¿Cuándo el agua esta contaminada?, el agua se considera contaminada cuando se altera su composición como: **Propiedades físicas, Químicas y Biológicas**, de tal suerte que resulta menos apta para cualquier consumo o uso.

Descarga de sustancias líquidas, gaseosas o sólidos que producirán molestias o conviertan esta agua en un peligro para la salud pública, industriales, agrícolas o bien para el ganado, los animales salvajes, los peces y la fauna acuática.

### **3.3.4.- Cuerpo Receptor**

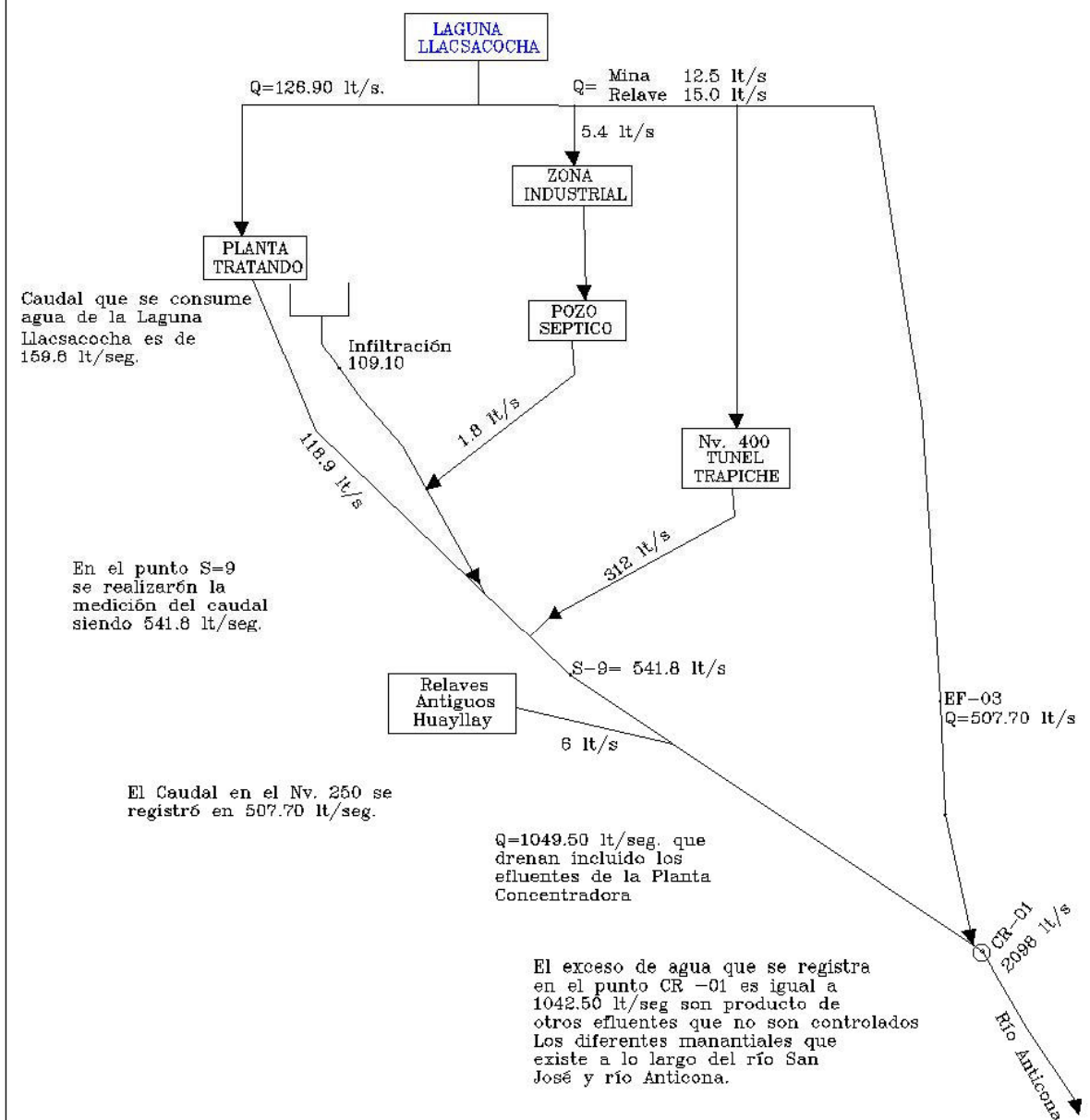
El río San José, constituye el único curso natural de agua que la mina afecta. En época de estiaje la mayor parte de efluentes vertidos al río San José provienen de las operaciones mineras a través del drenaje de agua de las labores subterráneas en explotación y que fluyen al ambiente receptor a través de los niveles 250 y 400, aguas drenadas de la cancha de relaves N° 5 y cancha de relaves antiguos de Huayllay,

aguas que en época de lluvias se incrementa este aporte con el aumento del flujo de aguas freáticas.

El caudal promedio tomado en los meses de Julio a Noviembre del año 2005 en el punto de monitoreo CR-01 fue de 169 681.82 m<sup>3</sup>/día (1,963.91 l/s), donde la calidad de las aguas se encuentran dentro de los valores límites permisibles de acuerdo a la ley general de aguas clase III y los efluentes mineros R.M. 011-96 EM/VMM.

Sin embargo en diciembre del año 2005, el volumen fue de 134 667.36 m<sup>3</sup>/día (1,558.65 l/s), sobre pasan los valores límites permisibles de la ley general de aguas, clase III en Fe y de acuerdo a los efluentes mineros R.M. 011-96 EM/VMM, sobre pasan en Fe y Zn.

## DIAGRAMA DE BALANCE DE AGUA



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA METALURGICA Y GEOGRAFICA  
UNIDAD DE POST-GRADO

DIAGRAMA DE BALANCE DE AGUA  
TESIS MITIGACION DE AGUAS ACIDAS PROVENIENTES DE MINAS SUBTERRANEAS

AUTOR:  
HERNAN O. CANALES REVATTA

FECHA: OCTUBRE 2007

PLANO No. 4

### 3.3.5.- Estándares de Calidad de Agua

Las características físico-químicas del agua, como consecuencia de la explotación, están sujetas a una diferencia de condicionantes.

Los criterios de calidad de agua que sirvieron de base para el estudio refieren a los establecidos por el Ministerio de Energía y Minas en 1996, a través de la Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM en el cual se aprueban los límites máximos permisibles para efluentes líquidos minero metalúrgicos (metales disueltos) y donde se establecen los parámetros límites de calidad de agua para los elementos físico químicos de mayor incidencia en las principales minas del Perú.

Se incluyen también los límites de calidad de agua adoptados en 1969 por la Ley general de aguas, mediante Decreto Ley N° 17752, y sus modificaciones según el D.S. N° 007-83-S.A. para el caso de cuerpos receptores que tengan que ser usados en abastecimiento doméstico (Clase I) o agroindustrial (Clase III), en el cuadro N° 3 se indican los valores límites permisibles de calidad de aguas.

**Cuadro N° 4**

**Límites Máximos Permisibles de Calidad del Agua en Unidades  
Mineras Metalúrgicas Operativas**

<b>ENTIDAD RECTORA</b>	<b>MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS (1996) *</b>		<b>LEY GENERAL DE AGUAS (1983)</b>	
	<b>En cualquier momento</b>	<b>Promedio Anual</b>	<b>Clase I</b>	<b>Clase III</b>
pH	5.5-10.5	5.5-10.5	5 – 9	5 – 9
Sólidos Suspendidos (mg/L)	100	50	0.1	0.2
Arsénico (mg/L)	1.0	0.5	---	---
Plomo (mg/L)	1.0	0.5	0.05	0.1
Cobre (mg/L)	2.0	1.0	1.0	0.5
Zinc (mg/L)	6.0	3.0	5.0	25.0
Fierro (mg/L)	5.0	2.0	0.3	1.0
Cianuro Total (mg/L)	2.0	1.0	0.2	1.0

Fuente: Ministerio de Energía y Minas.

\*Límite máximo Permissible – Efluentes mineros R.M. No. 011-96-EM/VMM

**Clase I:** Aguas de abastecimiento domestico con simple desinfección.

**Clase III:** Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales.

### 3.4.- Suelo

Los suelos típicos de la zona son los “paramosoles”, caracterizados por ser poco profundos, con un horizonte superficial delgado con alto contenido de materia orgánica y de pH ácido, estos suelos albergan una vegetación de tipo “lápiz vegetal” constituida por pastos naturales y otras plantas herbáceas y especies semileñosas eternos.

**Contaminación de los Suelos**, con relación a la deposición de relaves y de escorias de la industria metalúrgica, la inestabilidad química de los sulfuros que van como desechos ( $\text{FeS}_2$ ) dan origen a un drenaje ácido con alto contenido de metales pesados que constituyen uno de los mayores problemas ambientales de la minería en general.

Las muestras fueron tomadas en la margen izquierda del río Anticona, sobre los terrenos de la Comunidad Campesina de San Pedro de Pari.

**Cuadro N° 5**

**Resultado de Análisis de Sedimentos Contaminantes  
de la Actividad minera metalúrgica de Huarón y Animón**

COD.	LMP (*)	SC-01	SC-02	SC-09	SC-10
Hg (t) mg/kg	10	79.580	2.897	1.934	3.199
As (t) mg/kg	50	780	4241	1775	1311
ICP-Ag mg/kg		54.8	32.3	52.2	49.6
ICP-Cd mg/kg	20	<1	5	5	9
ICP-Cr mg/kg	800	36	115	75	292
ICP-Cu mg/kg	500	586	1455	1583	1686
ICP-Fe mg/kg		39857	214264	237932	81984
ICP-Pb mg/kg	600	3873	2135	2791	3095
ICP-Zn mg/kg	3000	962	3878	3033	5041

Fuente: Laboratorio CIMM Perú S.A.

(\*).- Norma Holandesa (Ministerie Vrom - Holanda)

**Ejemplo.-** Muestra de sedimento SC-10

Este punto está ubicado sobre la margen izquierda del río Anticona: 20 cm de material semejante al relave. Esta muestra fue tomada de una calicata de 0,40 m. de profundidad y 0.50 m. de diámetro.

De acuerdo a los reportes del Laboratorio CIMM Perú S.A. los resultados de estos ensayos, reporta que:

El contenido de Arsénico es de 1,311 mg/Kg, 26.2 veces mayor que el establecido por la Norma Holandesa que es de 50 mg/Kg.

El contenido de Cobre es de 1,686 mg/Kg, 3.4 veces mayor que el establecido por la Norma Holandesa que es de 500 mg/Kg.

El contenido de Plomo es de 3,095 mg/Kg, 5.2 veces mayor que el establecido por la Norma Holandesa que es de 600 mg/Kg.

El contenido de Zinc es de 5,041 mg/Kg, 1.7 veces mayor que el establecido por la Norma Holandesa que es de 3,000 mg/Kg

Los demás elementos se encuentran dentro de los límites establecidos en la Norma Holandesa.

A la fecha se han observado, sobre las laderas del río San José y río Anticona en una extensión de 105 hectáreas, existen impactos al suelo, producido a causa de la actividad minera, minas de Huarón y Chungar, desde el inicio de sus actividades, que se remonta a los años 1912.

Algunos metales importantes desplazados por las aguas ácidas (basado sobre sus concentraciones toxicas) si están presentes en la mena como el Pb, Cd, Cr, Cu y Zn (afecta a los peces) y Ni y Co (que afectan a las plantas).

#### **3.4.1.- Tierras para pastos Naturales**

El 40 % del área donde se ubica la mina Huarón, corresponden a: Tierras para pastos y tierras de protección, son suelos con un rango de pendiente alrededor del 15% al 55 % de origen coluvio-aluvial; son suelos superficiales de textura media y buen drenaje, No son aptas para la vegetación, por que estas áreas se encuentran sobre rocas, pero si abunda los pastos durante los meses de lluvia.

La zona de mina Huarón es sin duda favorecida por la existencia de praderas naturales de adecuada calidad para el pastoreo de ganado. La forma de pastoreo que más se practica en la zona es la de “pastoreo extensivo continuo durante todo el año”, llegando a niveles críticos de soportabilidad con una capacidad de carga menor de 0.5 U.A./Ha/año, con esta forma de pastoreo no hacen manejo técnico de las praderas.



Sin embargo existe degradación de los pastizales en los terrenos de la comunidad Campesina, en las áreas donde se han depositado los sedimentos, básicamente en las áreas que fueron impactadas por los desbordes de las aguas del río Anticona al colmatarse su cauce por la decantación de los sólidos que fueron arrastrados desde las partes altas del distrito de Huayllay donde se ubican las minas Huarón y Animón.

#### **3.4.2.- Tierras para la Producción Forestal.**

Las condiciones térmicas extremadamente frías no permiten realizar la producción forestal que, eventualmente eliminan toda posibilidad de cultivos agrícolas. Sin embargo, las tierras involucradas conforman pastizales altos andinos que sirven de base a ganaderías de tipo extensivo.

#### **3.5.- Flora**

La Flora está cubierta por el “ichu” (*Stipa spp.*, *Festuca spp.*, *Calamagrostis spp.*), paco paco (pasto natural abundante), sirve de alimento para la población pecuaria, las champas (estrella) que así se les denomina en esta zona son cogidas por los lugareños como material de combustible, incrementando su extracción y exterminio de estas plantas que extraen sin emplear ninguna técnica.

Las especies de pastos producidas en la zona de laderas y las de período vegetativo anual (siempre en rebrote), son las especies de los géneros como:

*Calamagrostis Vicunarium*, *Stipa*, *Festuca*, *Muhlenbergia*, *Aciachene*, *Astrágalos*, *Lupinos*, *Festuca dolichophylla*, *plantaso sp.* *Alchenilla Pinnata* y *Hipochoris Taraxacoides*, otras especies como: *werneria nubeigena*, *Astragalus garbancillo* y “quinual” (*queñua polylepis sp.*), que debido al sobre pastoreo se encuentran en proceso de deterioro, lo que a su vez activa la erosión de los suelos. Se tiene una vista panorámica de las praderas típicas con ganado pastando, ver foto N° 7. La producción agrícola en este lugar no es posible realizar por estar en condiciones adversas climatológicas de la región Altiplanicie.



**Foto N° 6.-** Ganado auquénido y ovinos de Huayllay consumiendo pastos naturales (ichu), frente al túnel Trapiche.

### 3.6.- Fauna

Es frecuente ver en la zona animales de variadas especies adaptadas al frío como ovinos, auquénidos, vacunos, equinos y porcinos que pastan simultáneamente. Sin embargo, la crianza de ovinos y auquénidos es la más habitual y tradicional, como se ve en la foto N° 6.

Los animales considerados silvestres se encuentran en etapa de extinción por la altitud.

#### 3.6.1.- Mamíferos

- Vizcachas (*Lagidium peruanum*).
- Venado (*hipoocamelus antisiensies*).
- Lagartija andina (*Liolaemus Macquardi* y *L. Alticolor*)
- Vicuña (*Vicugna vicugna*)
- Zorro andino (*Dusicyon culpaeus*)
- Cuy silvestre (*Cavia Tschudi*)

#### 3.6.2.- Aves

- Aguilucho Cordillerano (*Buzfo Poecilochious*)
- Pato Cordillerano (*Lophoneffa Specularoides*)

- Perdiz (*Nthoprocta Omata*)
- Lechuza de los arenales (*Alhene cunicularia*)
- Ganso andino o Huallata (*Chloephaga melanoptera*)
- Puco Puco (*Thinocorus orbygnyanus*)
- Tortolita peruana (*Eupelia Cruziana*)

### **3.6.3.- Reptiles**

Lagartijas (*Liolaemus walkeri*)

## **3.7.- Aspectos Socio-Económicos**

### **3.7.1.- Población.**

Las instalaciones mineras de la compañía minera Huarón S.A. se ubican en el distrito de Huayllay, localizadas en la Meseta de Bombón, geográficamente pertenece a las provincias Daniel Alcides Carrión y Pasco del departamento de Pasco.

El distrito de Huayllay tiene como capital al centro poblado de Huayllay, el cual es contiguo al campamento San José y a una distancia de 6 kms del centro minero Francois, estos últimos son asentamientos de la Compañía minera, foto N° 7 pueblo de Huayllay.

Huayllay, Francois y San José, son los asentamientos poblacionales de relevancia del área bajo análisis; el primero asienta población dedicada a actividades múltiples, el segundo exclusivamente población laboral minera y el tercero algunos miembros del Staff de la compañía minera Huarón, conocido como La Hueca, Vista Florida, Francois y Chosica, sin embargo los otros campamentos antiguos de Huarón y barrio Shusha fueron demolidos.



**Foto N° 7.-** Pueblo de la Comunidad de Huayllay.

En la actualidad se tiene un cuadro de los trabajadores de contratas que laboran en la unidad minera Huarón el cual representa el 83 % del total de trabajadores y empleados el 17 % restante se encuentra en la planilla de compañía, como se observa en el siguiente cuadro.

**Cuadro N° 6**

**Personal que Integra la Compañía minera Huarón al 30- 08- 2006**

	<b>OBREROS</b>	<b>EMPLEADOS</b>
<b>CONTRATA</b>	827	173
<b>COMPañÍA</b>	76	220
<b>Total</b>	<b>903</b>	<b>393</b>
<b>Total Global</b>	<b>1 206</b>	

Fuente: Cía. Minera Huarón

### **3.7.2.- Principales Indicadores Demográficos – Huayllay.**

Para realizar la muestra de la encuesta de hogares se usó el Censo de Población y Vivienda realizada el año 2005.

Se denota también el carácter expulsor de población, en razón a la escasa capitalización de las actividades propias del medio, con excepción de la actividad minera, del cual depende el porcentaje alto de su PEA. Si bien no se cuenta con estadística de la relación de

absorción de mano de obra de la unidad minera Huarón con respecto a la PEA total, sin embargo de acuerdo a las entrevistas realizadas en Francois, un alto porcentaje de los trabajadores proviene de distintos asentamientos y/o estancias del distrito, e incluso de otros asentamientos de la pampa de Junín, y de otras regiones del país.

### **3.7.3.- Actividad Económica.-**

La población económicamente activa (PEA), se dedica a la agricultura, ganadería y al comercio. En los pueblos más cercanos al distrito de Huayllay y a la mina, el 73% de los hogares tiene por lo menos una necesidad básica y el analfabetismo alcanza el 23%.

Se calcula que el ingreso familiar mensual en la sierra es de aproximadamente US \$ 67 muy por debajo del sueldo mínimo vital fijado por el gobierno peruano en US \$ 178 mensual. El acceso a los servicios sociales y a una infraestructura adecuada también es limitado.

Al igual que otros centros poblados como pampa de Junín, Huayllay se desarrolla a base de la preexistencia de una comunidad campesina.

### **3.8.- Análisis y Evaluación de la Matriz de Impactos Ambientales**

Tal como lo indica el análisis y evaluación de los impactos ambientales constituye una obligación para el planeamiento de las medidas de mitigación y la formulación del programa de monitoreo de calidad del agua. La evaluación está dividido de 4 categorías diferentes: ambiente físico, ambiente biológico, ambiente socio-económico y ambiente de interés humano.

Es importante el análisis y evaluación de impactos en una “Matriz de EIA” como la referida, radica en que ésta constituye un instrumento básico de integración de información socio-económica-ecológica-tecnológica que permite estudiar e interpretar las interrelaciones que se suscitan entre las variables anotadas, deviniendo de ello los impactos de efectos negativos en diverso orden de magnitud, intensidad e importancia que deben realizarse.

### **3.8.1.- Considerandos del Análisis y Evaluación de EIA.**

De acuerdo a la matriz de Estudio de Impacto Ambiental, las actividades causantes de mayor impacto, son los trabajos en las minas por el uso de agua en perforación, los accesos viales principales y trochas por la alteración física del ecosistema, las actividades de la planta concentradora en: chancado, molienda, flotación, secado y almacenamiento de concentrados, los depósitos de relave en uso y antiguas, fugas y filtraciones de efluentes altamente contaminantes.

Donde la evaluación ambiental arrojan los siguientes resultados:

Las aguas ácidas son monitoreadas en el túnel Paúl Nevejans Nv. 250, encontrándose valores máximos de emisión en el zinc en el rango de 6.1 a 38 mg/l, que sobrepasan el valor de 6 mg/l, y el fierro en el rango de 18.45 a 65.14, sobrepasa el valor de 5 mg/l, que es permitido para las unidades mineras en operación. El agua de mina ingresa al río Anticoná contaminando el recurso hídrico, así como el nivel freático y la red de drenaje de la zona que a su vez compromete los bofedales que son la fuente de pastoreo y abrevaderos del ganado existente.

La planta concentradora con sus actividades propias de efluentes, que se monitoreaban en el punto (E-8), donde el contenido de plomo que alcanza 1.6 mg/l cuando el límite permisible es 1.00 mg/l, el zinc que alcanza 12 mg/l siendo su límite permisible = 6 mg/l.

Los relaves almacenados en las canchas fueron monitoreados en las estaciones E- 4A y E- 4B que juntan sus filtraciones en la estación E-9, en este punto (E-9), los efluentes en general registran valores bajos de elementos metálicos producto de la dilución que experimentan con las aguas del depósito de relaves. Sin embargo el zinc se mantiene alto con 12 mg/l frente a los 6 mg/l que es el límite permisible. Otro elemento que aparece peligroso es el cadmio que se acerca a los 0.05 mg/l que es el límite permisible, como se aprecia en la matriz del EIA, los impactos producidos por estas dos actividades comentadas son las más peligrosas y duras en cuanto a magnitud e importancia de daños ambientales.



## MATRIZ DE IMPACTOS AMBIENTALES

[illegible]

## **CAPITULO IV**

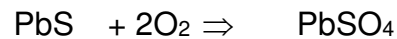
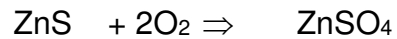
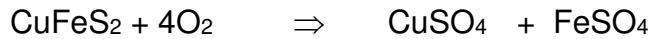
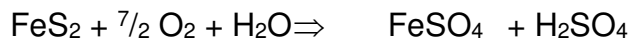
### **Fuentes de Contaminación de Impactos Ambientales de la Mina Huarón.**

#### **4.1.- Generación de Aguas Acidas**

Sabemos que los minerales sulfurosos como la pirita y otros a la acción del agua, aire y oxígeno, estas transformaciones físicas, químicas y biológicas, dan origen a unos drenajes de mina que por lo general son ácidos y contienen elevadas concentraciones de Fe, Al, SO<sub>4</sub>, además de Zn, Mn, Mg, Cu, Cd, Pb y As, que provienen de la disolución de sulfuros y otros minerales asociados, estos efluentes son una de las principales fuentes potenciales de alta disponibilidad de elementos contaminantes que degradan la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, comienzan a oxidarse de forma rápida con altos contenidos de sulfatos, hierro ferrosos, metales básicos (Pb, Cu, As, Zn y Fe) y presentan valores pH tan bajos como 2.0 registrado al pie de la cancha de relaves N° 5 y pH de 2.4 en las aguas del nivel 400, en ausencia de materiales calcáreos.



Los sulfuros que se oxidan en contacto con el oxígeno del aire y son arrastrados por el agua tenemos:



El manejo del drenaje ácido de roca presenta dos tipos de enfoque.

- ✓ La primera está referida al tratamiento inmediato de las aguas ácidas, la que implica el tratamiento directo de las aguas.
- ✓ La segunda, es la prevención de drenaje ácido de rocas, esto incluye un reconocimiento de todos los materiales en su capacidad de generar ácido o su capacidad de neutralizar con las técnicas de encapsular a los cuerpos minerales potenciales de drenaje ácido evitando el contacto del oxígeno con el agua y las bacterias (Thiobactillus Ferrooxidans).

## **4.2.- Fuentes de Contaminación**

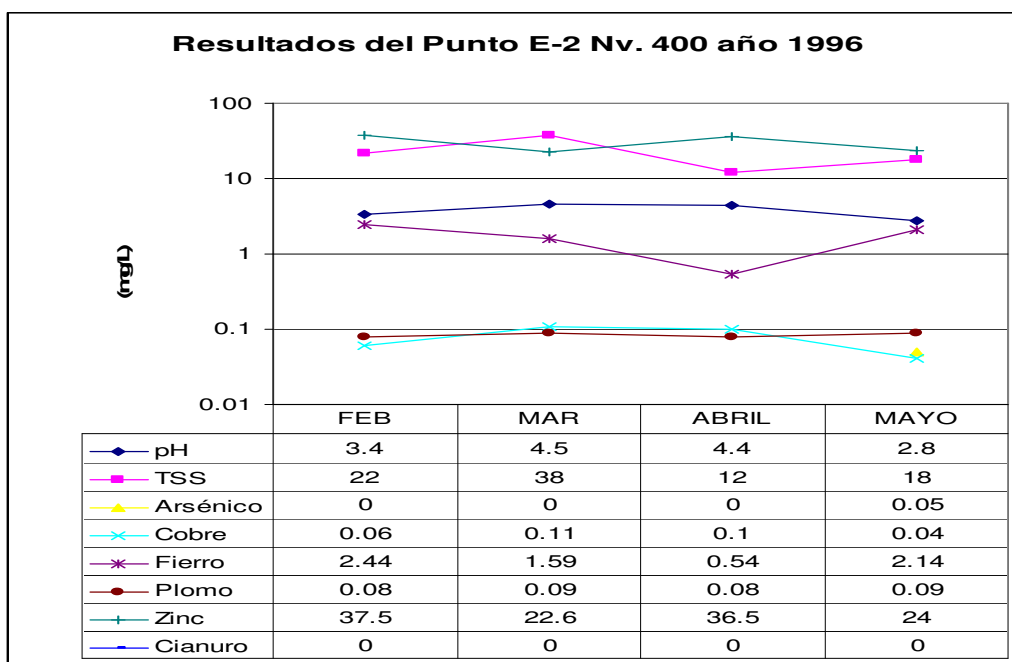
### **4.2.1.- Drenaje Proveniente de las Bocaminas.**

Las aguas ácidas producidas en las labores mineras de la mina Huarón son drenadas por 2 niveles principales contruidos por el año 1952 que son el nivel 400 denominado túnel trapiche ubicado en la zona de trapiche y el nivel 250 túnel Paúl Nevejans ubicado en San José, las aguas drenadas son transferidas hasta las pozas de sedimentación y verterlas al cause del río San José con valores que sobrepasan los estándares de calidad de agua conforme a los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos por la R.M. 011-96-EM/VMM, se muestran en la foto N° 9 y foto N° 10 de los túneles y gráfico N° 1 de análisis de agua con pH bajos tomados el año 1996.



**Foto N° 8.-** Punto de monitoreo EF-02 (antes) en el nivel 400 por donde drenan las aguas ácidas antes del transvase al nivel 250 por el Raise Borer.

**Gráfico N° 1**



Fuente: Cía. Minera Huarón.

#### 4.2.1.1.- Drenaje por el Nivel 400 Túnel Trapiche

El nivel 400 ubicado en la zona de trapiche, construido por el año 1952, tiene una longitud aproximada de 5 kilómetros, es un túnel que sirve para extraer las aguas acumuladas de las labores mineras, este túnel es usado por la empresa minera Animón y Huarón. La medición correspondiente al 4to periodo de monitoreo dio un pH de 3.8 y un flujo de 350 l/seg.



**Foto N° 9.-** Aguas ácidas de color amarillo marrón que drenan por el Nivel 400 – túnel Trapiche.

La última medición correspondiente al 4to. Periodo de monitoreo dio un pH de 5.5 y un flujo de 149 L/seg.

El caudal resultante del Nv. 400, es de 312 l/s, el pH varía (4.1 y 5.8), TSS= 178 mg/L, Zn (0.71-26.68 mg/L) y el Fe (14.75-70.75 mg/L); son valores promedios y medidos entre los meses de enero-agosto del año 2002, valores altos que sobrepasan los límites máximos permisibles.

Otro monitoreo realizado en los tres primeros meses del año 2003, cuyos resultados son los siguientes: pH (3.2 - 5.4 - 4.3), Cu (2.36 - 3.408 - 4.065 mg/L), Fe (10.54 - 62.7 - 50.21) y Zn (65.15 - 86.2 - 77.67), observándose que exceden los límites máximos permisibles, estos valores se aprecian en el cuadro N° 8 y está representado en el gráfico N° 2.

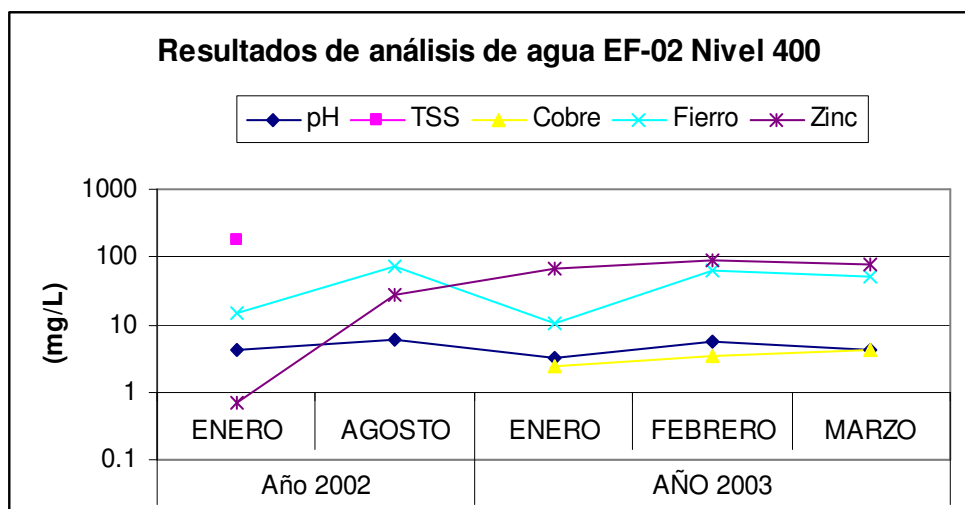
En el presente análisis no se registraron valores de plomo, arsénico y cianuro.

**Cuadro N° 8**  
**Resultados de análisis de agua realizado en los años 2002 y 2003 punto EF- 02 nivel 400 del túnel Trapiche.**

	Año 2002		Año 2003		
Elementos	Enero	Agosto	Enero	Febrero	Marzo
Caudal lt/s	312	---	---	---	---
pH	4.1	5.8	3.2	5.4	4.3
TSS (mg/lit)	178	---	---	---	---
Cobre (mg/lit)	---	---	2.36	3.408	4.065
Fierro (mg/lit)	14.75	70.75	10.54	62.70	50.21
Zinc (mg/lit)	0.71	26.68	65.15	86.20	77.67

Fuente: Cía. Minera Huarón.

**Gráfico N° 2**



Fuente: Cía. Minera Huarón.

#### **4.2.1.1.1.- Construcción de 3 Pozas de Sedimentación (Trapiche)**

Por los años 1998, la empresa Huarón construyó poza flocladora y/o sedimentadora de sólidos en el nivel 400 que consistía de tres pozas construidas en serie con bermas de material de desmonte, el sistema de decantación está provisto de tubos de 12" de diámetro para la descarga del agua clarificada, con volumen estimado de 4, 045 m<sup>3</sup>; 5, 164 m<sup>3</sup>; 4, 006 m<sup>3</sup> en orden y una altura útil de 2 m., hasta estas pozas eran derivadas las aguas ácidas del nivel 400.

Los diques fueron rotos al producirse la inundación de la Laguna Naticocha de la mina Animón el 23 de Abril de 1998; en la actualidad las pozas no cumplen su función de floclación y sedimentación, como se observa en la foto N° 10 y esta misma poza en la actualidad se encuentra en proceso de remediación de acuerdo a la foto N° 11, como se aprecia en el Plano N° 3.

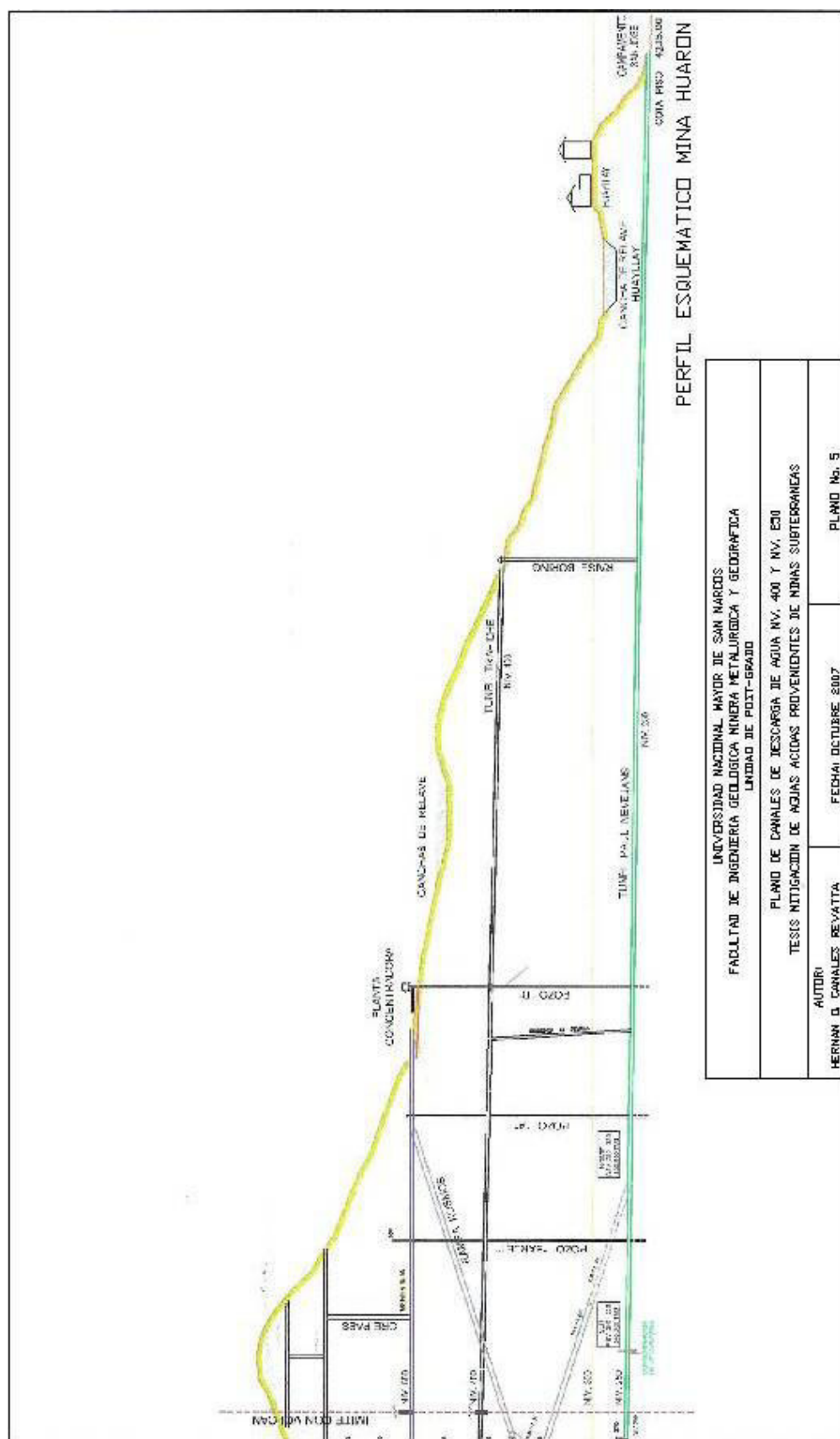




**Foto N° 10.-** Poza de sedimentación de aguas de mina ubicado en el nivel 400, túnel Trapiche antes del transvase.



**Foto N° 11.-** Antigua poza de sedimentación de Trapiche se halla en trabajo de nivelación, cubrir con capa agrícola y revegetar con ry grass ingles.

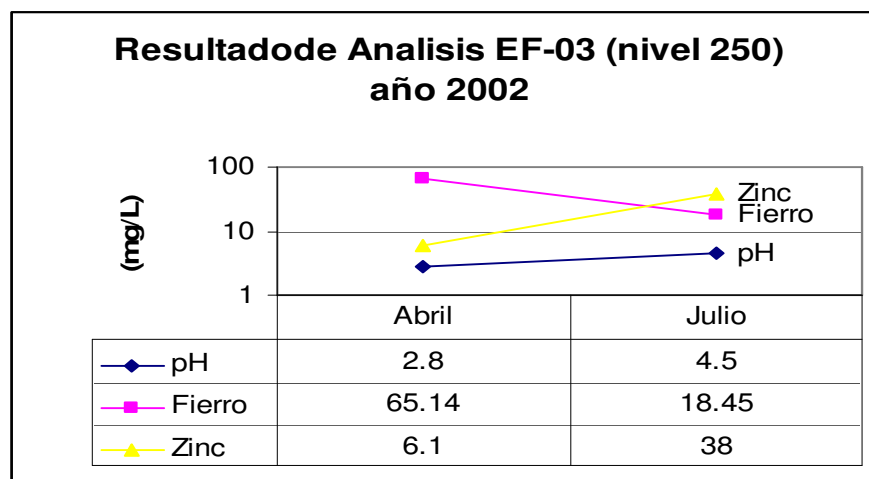


#### 4.2.1.2.- Drenaje por el nivel 250 túnel Paúl Nevejans.

Las aguas ácidas que drenan por el nivel 250 provienen de los trabajos de perforación en interior mina, de las aguas freáticas y de las que provienen del relleno hidráulico y infiltraciones de aguas de lluvia por las chimeneas existentes, las cuales son conducidas a través de un sistema de túneles hasta su descarga por la bocamina a través del canal principal denominado túnel Paúl Nevejans del nivel 250.

Las aguas ácidas ingresan al río Anticono contaminando el recurso hídrico, el nivel freático y la red de drenaje de la zona que a su vez compromete los bofedales que son la fuente de pastoreo y abrevaderos del ganado existente. La foto N° 12, nos muestra el túnel Paúl Nevejans del nivel 250, en el presente análisis no se registraron los valores del arsénico, cobre, plomo, cianuro y sólidos suspendidos, el gráfico N° 3 representa los valores de la muestra tomada en el desagüe de la poza de decantación de aguas de mina conocida como “Poza de Arcillas” (antes), como se indica en la foto N° 13.

**Gráfico N° 3**



Fuente: Cía. Minera Huarón.





**Foto N° 12.-** Túnel Paúl Nevejans del nivel 250, por donde drenan las aguas ácidas de las labores mineras.



**Foto N° 13.-** Poza antigua de decantación de aguas de mina conocida como “Poza de Arcillas” en el lugar de San José, nivel 250.

### **4.3.- Drenaje Acido Proveniente de los Relaves**

#### **4.3.1.- Depósito de Relaves Antiguos - Huayllay.**

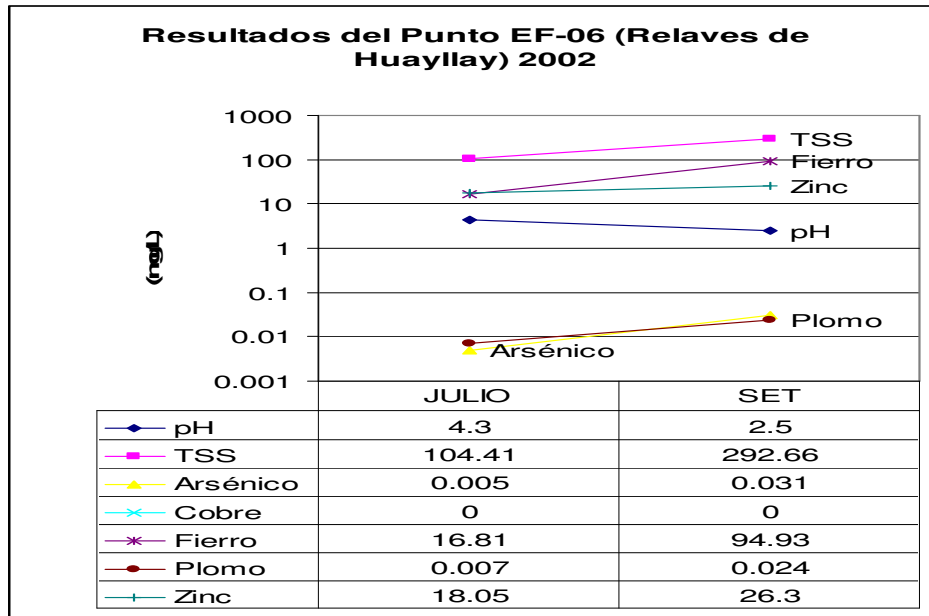
En el distrito de Huayllay se encuentra una cancha de relaves de operaciones antiguas cubriendo en un área de 22,000 m<sup>2</sup>, trabajadas por antiguos propietarios de la mina Huarón.

Este depósito de relaves es otro generador de impactos negativos de aguas ácidas desde épocas muy antiguas por el contenido de minerales piritosos y metales comunes producto del yacimiento, por el efecto contaminante que producen los drenajes ácidos y que pueden emitirse al río San José, especialmente en las épocas de lluvias y la producción de polvos emitidos hacia el distrito de Huayllay en épocas de estiaje. Se ejecutaron los siguientes trabajos:

Se impermeabilizo los relaves con 60 cm de arcilla, posteriormente se cubrió con 30 cm de tierra vegetal (top soil) y se realizó la revegetación con ry grass inglés.

Los impactos producidos fueron comprobados por el monitoreo realizado en los meses de julio a setiembre del 2002, encontrando los siguientes valores: Caudal de 5 l/seg, TSS (104.41 a 292.66 mg/L), Fe disuelto (16.81 a 94.93 mg/L), Mn (43.20 a 87.38 mg/L) y, con pH bajos (4.3 - 2.5), de igual manera el Pb (0.007 a 0.024 mg/L), Zn (18.05 a 26.30 mg/L) y As (0.005 a 0.031 mg/L), el monitoreo fue realizado en el punto (EF-06), el grafico N° 4 nos indica el estado de los análisis de laboratorio, se encuentra por encima de los limites permisibles de los efluentes mineros R.M. 011-96- EM/VMM y la ley general de aguas Clase III en los elementos de : Fe, Zn, TSS y pH.

**Gráfico N° 4**



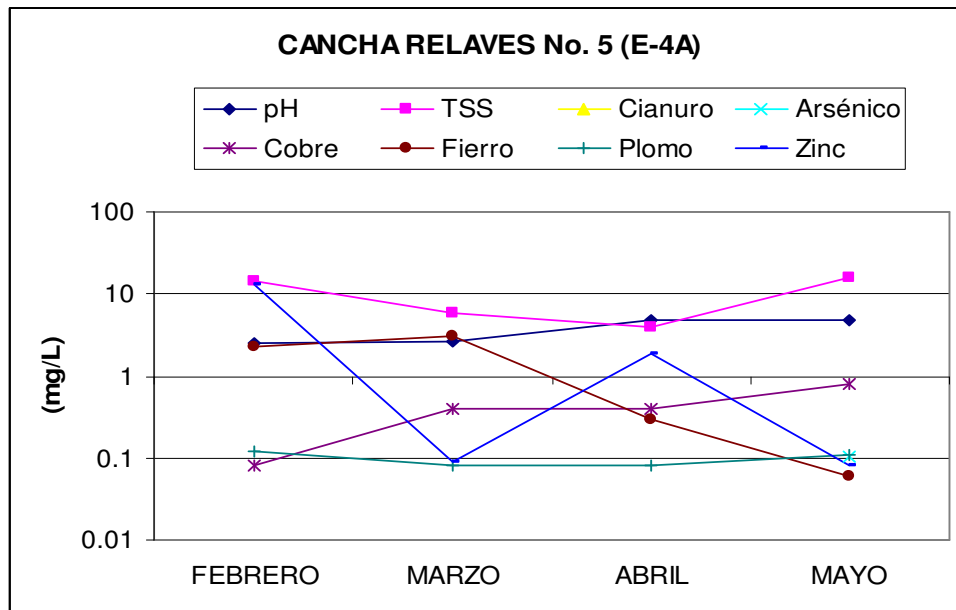
Fuente: Cía. Minera Huarón.

#### 4.3.2.- Cancha de Relaves N° 1, 2, 3, 4 y 5

Las canchas de relaves 1, 2, 3, 4 y N° 5 y cancha de relaves antiguos de esta zona por las fugas y filtraciones de efluentes altamente contaminantes constituida principalmente por pirita, cuarzo, pirrotita, etc, trazas de galena, esfalerita, calcopirita, arsenopirita, provenientes de procesos de flotación que son dispersados por la gravedad y el agua depositándose parcialmente como sedimentos en la ribera del río y los suelos agrícolas, los granos angulosos de pirita y cuarzo en las relaveras de tamaños menores a 150 micrones.

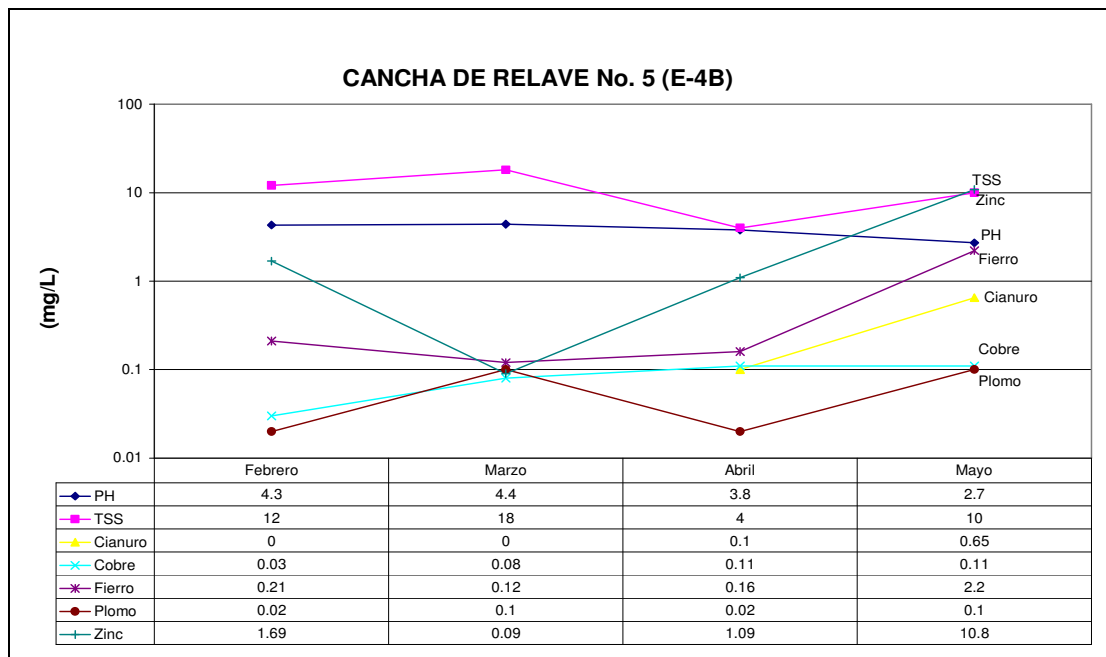
Los metales pesados como el Pb, Cd, Zn, As y otros son contaminantes peligrosos por tener afinidad con el azufre, alterando los enlaces del azufre en las enzimas, de esta manera impiden su funcionamiento. Ver plano N° 4 de cancha de relaves, estos fueron monitoreados en los puntos de estación E-4 A y E-4 B, se representa en el gráfico N° 5 y gráfico N° 6 del año 1996 y luego se monitoreaban las filtraciones en la estación E-9.

Gráfico N° 5



Fuente: Cía. Minera Huarón. Año 1996

Gráfico N° 6



Fuente: Cía. Minera Huarón. Año 1996





### **Análisis de agua en el punto S-9 (río san José)**

La estación E-9 es uno de los puntos de monitoreo de los efluentes autorizados por el Ministerio de Energía y Minas, en general registran valores bajos de elementos metálicos producto de la dilución que experimentan al entrar en contacto con aguas neutras. No obstante, el zinc (11.60 mg/L) frente a los 3 mg/L, el Fe (2.59, 3.08 y 2.09 mg/L), siendo de 2.00 mg/L el límite máximo permisible, la fotografía adjunta nos muestra el punto de monitoreo, de igual manera se presenta los cuadros del reporte de análisis de las aguas ácidas tomadas en este punto el año 1996 en los meses de febrero a mayo respectivamente con un caudal de 540.0 L/s. promedio.

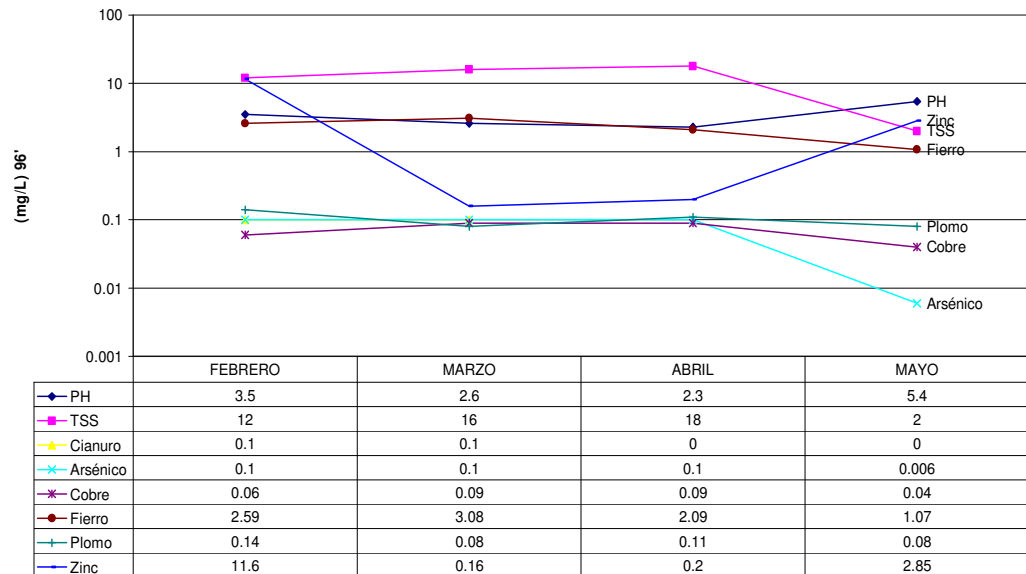


**Foto N° 14.-** Aguas en épocas de lluvias están muy crecidas y obsérvese el punto de monitoreo S-9

El gráfico N° 7, nos representa los valores tomados en el punto de monitoreo (S-9), en el río San José después de la dilución de las aguas del nivel 400 y drenaje de las aguas de relaves N° 5, los pH bajos y el zinc sobre pasa los límite máximo permisible.

**Gráfico N° 7**

**RIO SAN JOSÉ DESPUES DE LA SEDIMENTACIÓN DE LOS DRENAJES DE LA CANCHA DE RELAVE  
No. 5 Y AGUAS DEL NIVEL 400 (E-9)**



Fuente: Cía. Minera Huarón. Año 1996.

#### 4.4.- Monitoreo de las aguas ácidas de la unidad minera Huarón.

Para tener un orden sobre el monitoreo ya establecidos de los afluentes de las aguas en diferentes lugares, se establecieron puntos de estaciones debidamente identificados con su descripción con coordenadas UTM, número de punto y el lugar, teniendo en cuenta la topografía y fácil acceso para realizar los monitoreos, a su vez estos puntos fueron aprobados por la entidad respectiva del Ministerio de Energía y Minas.

**Cuadro N° 9**

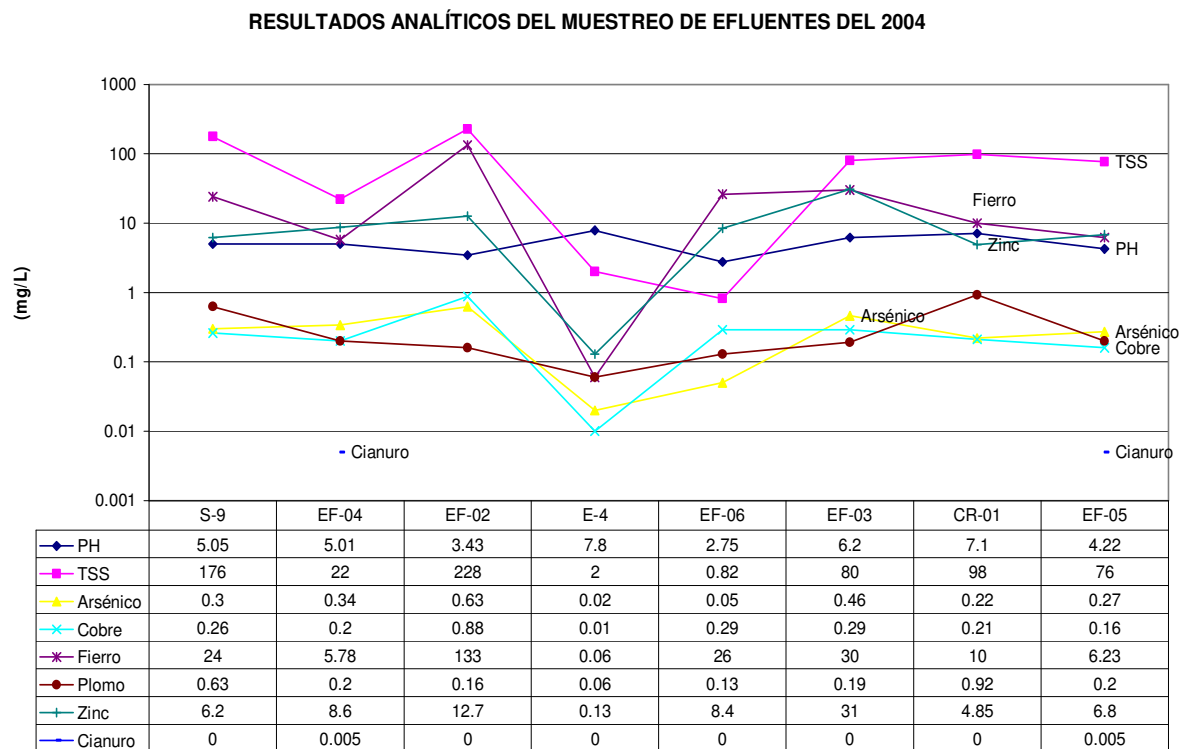
**Descripción de los puntos de monitoreo de efluentes (antes)**

Punto de Monitoreo	Descripción	Coordenadas UTM	
		Norte	Este
<b>E-4</b>	Salida de la Laguna Llacsacocha	8'783,029	345,602
<b>EF-05</b>	A 250 m. de la cancha de relaves	8'783,456	347,847
<b>EF-04</b>	Salida de la cancha de relaves	8'783,815	347,448
<b>EF-02</b>	Bocamina del Nv. 400 Trapiche	8'783,510	348,513
<b>S-9</b>	Río San José al pie de Trapiche	8'783,636	349,854
<b>EF-06</b>	Cancha de relaves antiguos.	8'784,126	350,828
<b>EF-03</b>	Nivel 250 túnel Paúl Nevejans.	8'784,796	351,649
<b>CR-01</b>	Cerca al cementerio.	8'786,473	354,397

Fuente: Cía. Minera Huarón.

El cuadro N° 8 nos indica los puntos de monitoreo de efluentes (antes), mientras que el gráfico N° 8 nos muestra los resultados del análisis de agua realizado en todo los puntos de monitoreo en el año 2, 004.

**Gráfico N° 8**



**Fuente:** Cía. Minera Huarón

### Descripción:

De acuerdo a estos resultados de los análisis los pH en estos puntos se encuentran mejorados, sin embargo se tienen elementos de Pb, Zn, Fe y TSS por encima de los LMP establecidos por la R.M. N° 011-96-EM/VMM límites máximos permisibles para efluentes líquidos minero metalúrgicos. En el plano N° 7 se aprecia los puntos de monitoreo que se tenían antes de realizar el transvase de las aguas del nivel 400, relaves y otros.





## **CAPITULO V**

### **Mitigación de Aguas Ácidas de la Mina Huarón**

#### **5.1.- Recolección del Agua Ácida producto de Relaves**

##### **5.1.1.- Agua ácida de la cancha de relaves N° 5.**

Las aguas ácidas infiltradas del depósito de relaves N° 5 y otros depósitos antiguos que se encuentran en esta zona, son captados por medio de un canal receptor y drenados hacia dos pozas colectoras, ver foto N° 15, en estas pozas colectoras anteriormente se sedimentaban con la adición de cal para levantar el pH, y monitoreados en el punto (EF-05) y punto común (S-9) y derivados al río San José como se aprecia en la foto N° 14 (antes).

A la fecha las aguas son derivadas mediante tubería de PVC de 4" de diámetro hasta la chimenea de 8.5" de diámetro hecha por la maquina raise borer, como se observa en la foto N° 16 del nivel 400 al nivel 250, donde las aguas serán tratadas en su conjunto antes de ser vertidos al río San José, el gráfico N° 9 nos indica el resultado del análisis del agua antes de ser transvasados por el raise borer.



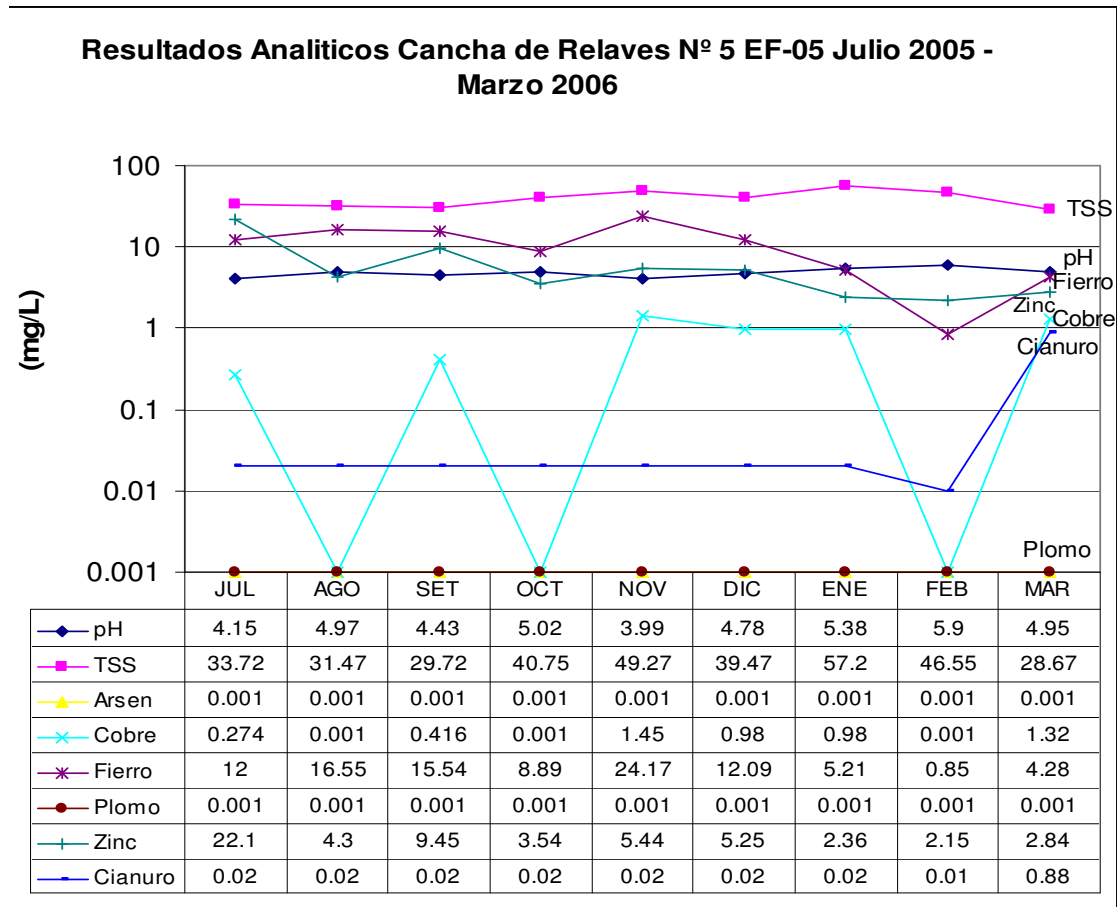


**Foto N° 15.-** Poza de captación de aguas ácidas provenientes de los depósitos de relaves N° 5 y otros.



**Foto N° 16.-** Las aguas ácidas de los relaves son derivadas por la chimenea de 8.5" de diámetro hacia el canal del nivel 250.

**Gráfico N° 9**



Fuente: Cía. Minera Huarón.

### 5.1.2.- Agua ácida de la cancha de relaves antiguos de Huayllay.

Las aguas ácidas generadas en este depósito de relaves antiguos de huayllay, fueron canalizados mediante drenes franceses para conducirlos hasta un reservorio (tanque), una vez colectada el agua, estos son derivados por medio de tuberías de PVC de 4" de diámetro y una longitud de 1,600 metros con un caudal de 2.5 l/seg hacia la poza de sedimentación del nivel 250 para ser tratadas. La secuencia se aprecia en foto N° 17 y foto N° 18.





**Foto N° 17.-** Dos pozas para la captación y sedimentación de las aguas ácidas colectadas de los diferentes puntos.



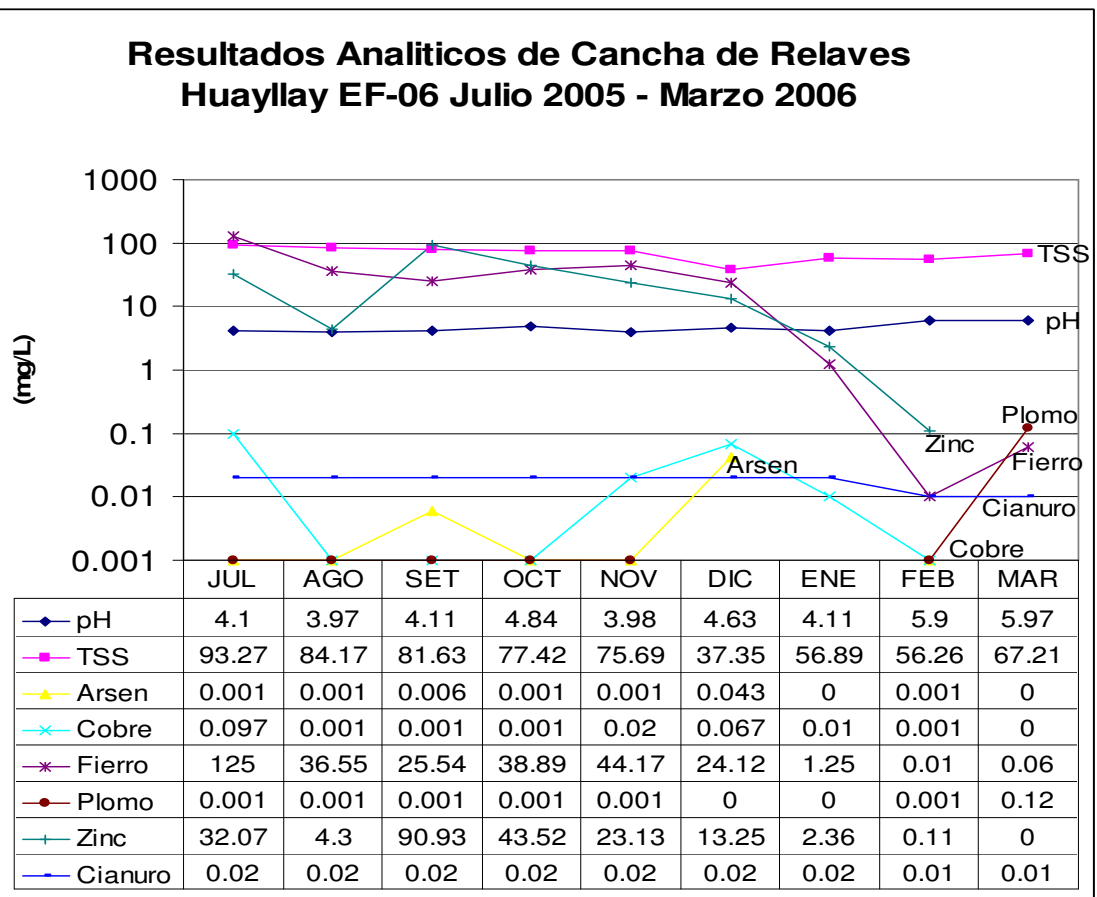
**Foto N° 18.-** Las aguas ácidas son derivadas por la tubería de PVC de 4" de diámetro del depósito de relaves antiguos al nivel 250.

La muestra de agua ácida se tomó en el punto de monitoreo (EF-06), indicado de los depósitos de relaves antiguos Huayllay.

De acuerdo a los resultados de los monitoreos, este efluente tiene un contenido de TSS, Fe y Zinc en mg/l que sobrepasan los LMP establecido por la R.M. N° 011-96 EM/VMM, que son de 2.0, 3.0 y 50.0 mg/L; los demás elementos se encuentran dentro de los LMP.

En el gráfico N° 10, solo se observan los monitoreos de las aguas ácidas de estos relaves hasta el mes de marzo del 2006, por que a partir del mes de abril del 2006 se realizó el transvase al nivel 250 para su tratamiento respectivo.

**Gráfico N° 10**

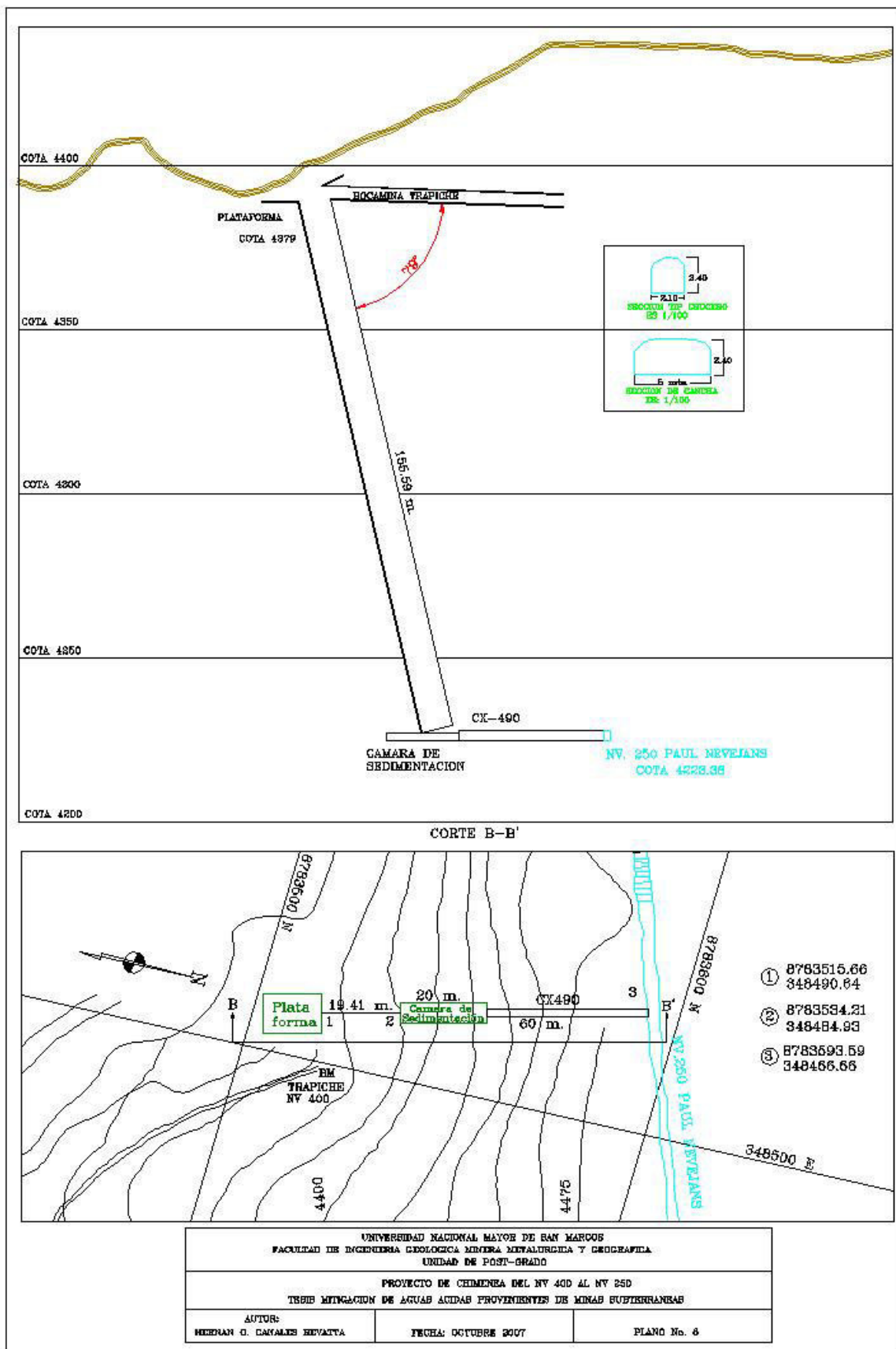


Fuente: Cía. Minera Huarón.

## **5.2.- Transvase de Aguas Ácidas del nivel 400 túnel Trapiche**

Debido a las pozas antiguas de floculación y/o sedimentación de la zona de Trapiche, hoy inoperativas y solo estaban contruidos con material de desmonte y otros, vale decir que no prestaba las garantías solicitadas, se busco la forma mas adecuada de optimizar costos en el tratamiento de las aguas ácidas con valores que superaban los límites máximos permisibles en Fe, sulfato y otras sustancias, con pH (2.4 y 3.0), a la fecha se efectuó un estudio muy factible, que consiste en transvasar las aguas ácidas provenientes de: nivel 400 túnel Trapiche, el drenaje de los relaves N° 5 y otros, por medio de una chimenea de 8.5" de diámetro realizada con la máquina raise borer construida de superficie hasta el nivel inferior 250, llegando primero al crucero 490 donde el agua es sedimentada en una poza hecha con este propósito, luego el agua decantada es vertida al canal del nivel 250 y ser tratada en un punto común, evitando mayores costos adicionales en mano de obra, insumos como hidróxido de cal , floculantes y otros.

El proyecto de ejecución de obra se encuentra a 50 metros del nivel 400 en el lugar denominado Trapiche, como se observa en la foto N° 19, donde la máquina esta realizando trabajos de perforación vertical (chimenea), de una longitud de 156 metros con un ángulo de 79º respecto a la horizontal, y la foto N° 20 que están realizando trabajos de canalización, que servirá exclusivamente para drenar las aguas ácidas recolectadas en este sector. Ver el diseño del proyecto de chimenea del nivel 400 al nivel 250, plano N° 8





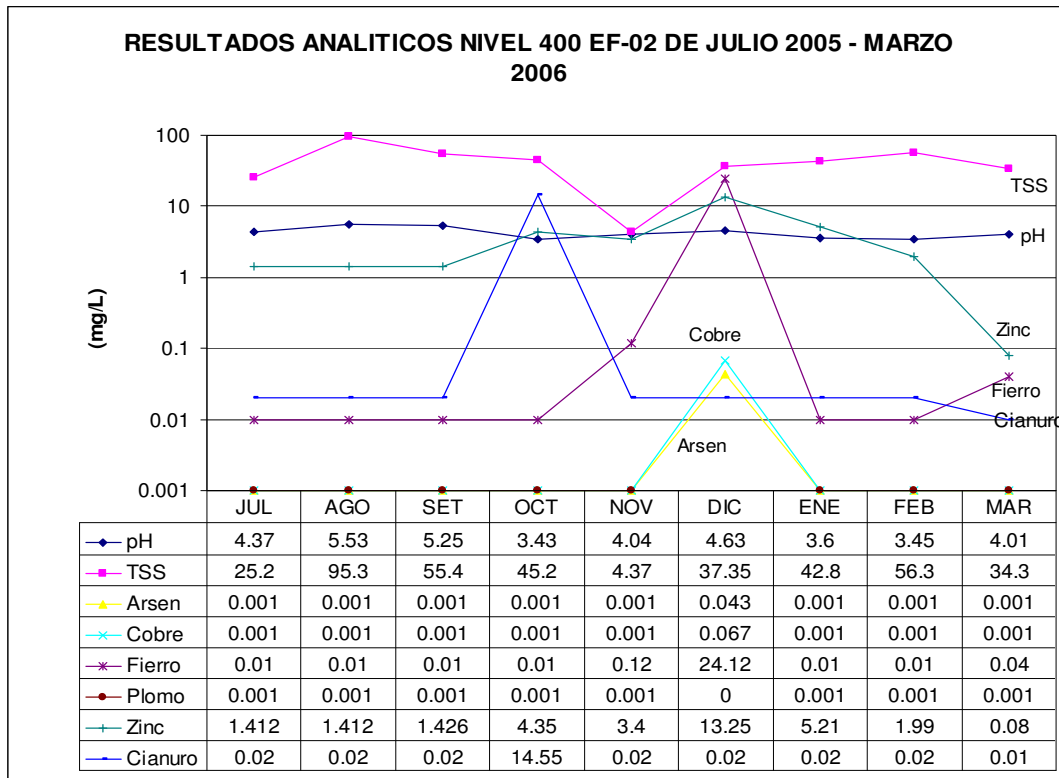


**Foto N° 19.-** Se realizó la perforación diamantina de 8.5" de diámetro con el raise borer cerca al túnel Trapiche del nivel 400 para desviar el agua hacia el nivel 250.



**Foto N° 20.-** Construcción del canal para desviar las aguas del nivel 400, hacia la perforación diamantina y drenar al nivel inferior de la mina para ser tratadas en un solo punto.

**Gráfico N° 11**



Fuente: Cía. Minera Huarón.

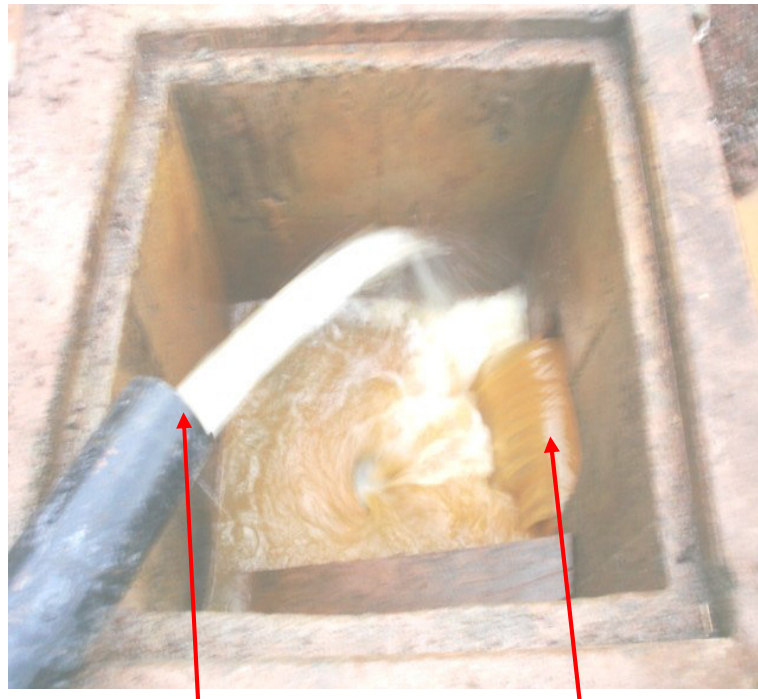
A partir del mes de Julio del 2005 hasta marzo del año 2006, se realizan monitoreos en el punto (EF-02) del nivel 400 túnel Trapiche (antes del Transvase), según el análisis del aguase encontraron los siguientes valores: El grafico No 11 nos muestra valores por encima de los límites máximos permisibles Ley General de Aguas y R.M. 011-96- EM/VMM, excepto el Fe y Zn, que sobre pasan como se aprecia en el reporte de monitoreo de aguas del mes de diciembre del 2005.

#### 5.2.1.- Las aguas ácidas son recolectadas y Transvasadas de dos maneras para su acumulación.

##### a).- Por medio de la chimenea de 8.5” de diámetro.

Como se realizó el proyecto de perforar una chimenea desde superficie a interior mina, desde el nivel 400 al nivel 250 y derivar las aguas ácidas recolectadas en este punto común, la foto nos indica

que las aguas que drenan por el tubo son las aguas del depósito de relaves N° 5, se encuentra drenando por la base son las aguas acidas del nivel 400 túnel Trapiche y a consecuencia de este trasvase los puntos de monitoreo han sido reducidos a solo 05 puntos, de los cuales 02 puntos son de monitoreo de aguas acidas. Ver foto N° 21.



Agua de Relaves - agua del Túnel Trapiche  
**EF- 05** **EF-02**

**Foto N° 21.-** El agua que viene a través de la tubería de PVC son del depósito de relaves N° 5 y del nivel 400 es derivado al nivel 250.

**b).- Por medio de esta Tubería de PVC de 4" de diámetro.**

Las aguas ácidas derivados de la cancha de relaves antiguos de Huayllay, son colectadas y transferido por medio de la tubería de PVC, como se aprecia en la foto N° 22, al canal principal del nivel 250 para su tratamiento hasta obtener los límites máximos permisibles requeridos por el sector MEM.





**Foto N° 22.-** Las aguas ácidas del depósito de relaves antiguos, son derivados por esta tubería al canal principal del nivel 250.

**c).- Acumulación y tratamiento de las aguas acidas en el nivel 250, túnel Paúl Nevejans.**

Las aguas ácidas producidas en interior de la mina Huarón por los diferentes trabajos mineros realizados: perforaciones ejecutadas, rellenos de relaves, por aguas naturales efectivos y infiltraciones de aguas de lluvia por las chimeneas existentes, agua ácida de mina originados por la oxidación de los minerales sulfurosos y la lixiviación de los metales pesados asociados, y las aguas difíciles de drenar por gravedad por estar por debajo del nivel 250, son bombeados hasta alcanzar el canal principal del nivel 250 (túnel Paúl Nevejans), este canal cuenta con 7 kilómetros de longitud y tiene el propósito de desaguar las aguas ácidas, las aguas así acumuladas de los sectores mencionados son tratados en la poza sedimentación que se encuentra en la superficie del nivel 250, como se aprecia en la foto N° 23 y posteriormente las aguas tratadas son vertidas al cause del río San José.

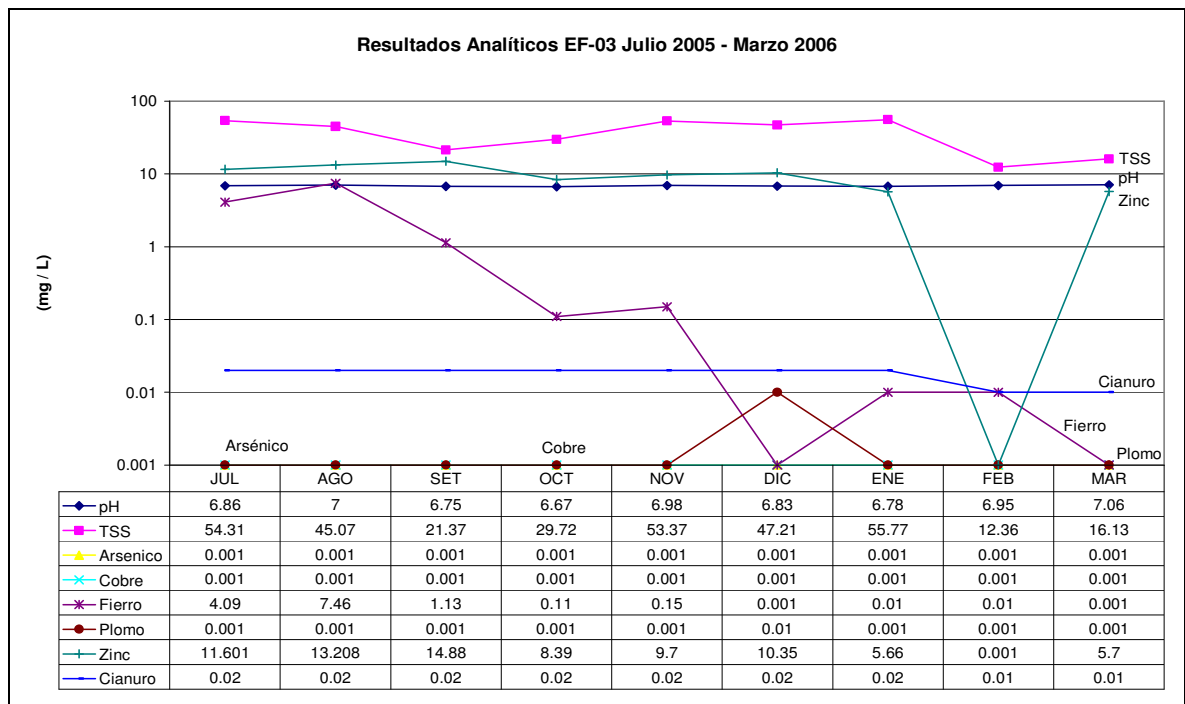


**Foto N° 23.-** Las aguas ácidas colectadas ingresan por este canal, con la mezcla de hidróxido de calcio y floculante a las pozas de sedimentación.

#### **5.2.1.1.- Análisis de monitoreo del agua Nivel 250 punto (EF-03)**

La muestra fue tomada a la salida de la poza de decantación de aguas de mina conocida como “Poza de Arcillas” (antes), este efluente proviene de mina que sale por la galería conocida como túnel Paúl Nevejans – Nivel 250 y descarga al río San José. Según los reportes de ensayos químicos, los valores de este efluente tiene un contenido de zinc y fierro por encima del LMP establecido por la R.M. N° 011-96 EM/VMM, hallándose los demás elementos dentro de los parámetros establecidos. Ver gráfico N° 12.

**Gráfico N° 12**



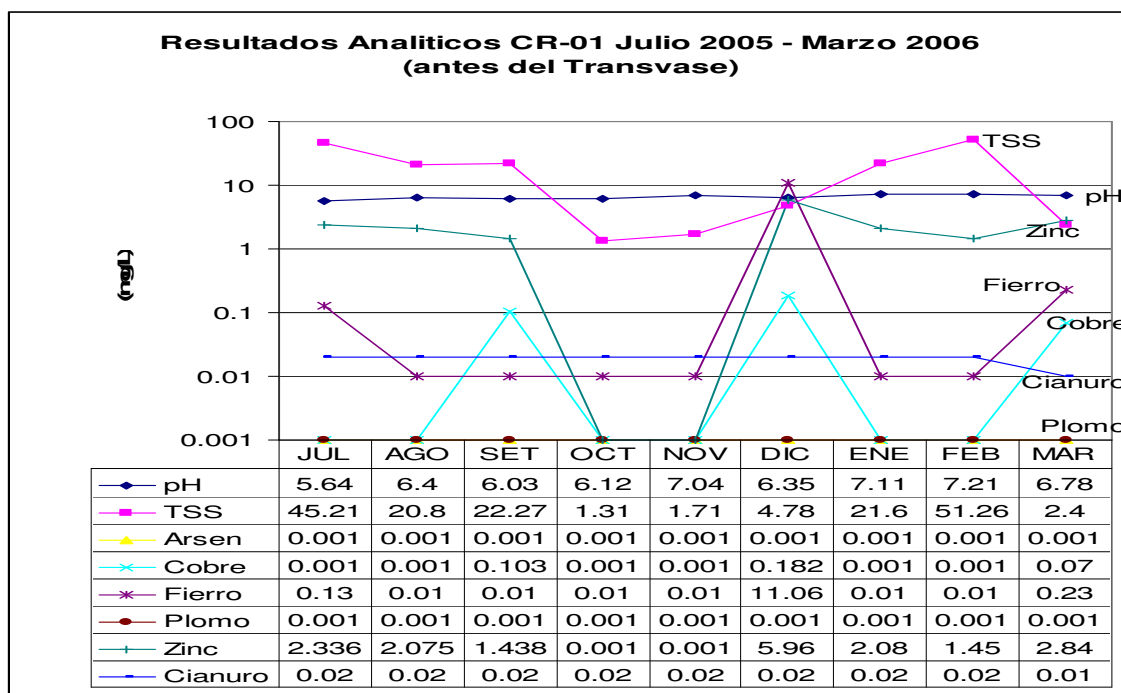
Fuente: Cía. Minera Huarón.

#### 5.2.1.2.- Análisis de monitoreo en el Río Anticona (CR- 01)

Es una estación de monitoreo denominado con el punto (CR-01), ubicado en el río Anticona, se encuentra a 3,220 metros de distancia al puente (cerca al cementerio) desde el punto de monitoreo (EF-03) punto ubicado en la descarga de las aguas tratadas nivel 250.

De acuerdo a los resultados de los reportes de los ensayos químicos, en este efluente tiene un contenido de zinc, fierro y TSS por encima del NMP establecido por la R.M. N° 011-96 EM/VMM, hallándose los demás elementos dentro de los parámetros establecidos, ver gráfico N° 13.

**Gráfico N° 13**



Fuente: Cía. Minera Huarón.

### 5.3.- Trabajos realizados antes de la Mitigación.

#### 5.3.1.- Construcción de dos Pozas de Sedimentación.

A la fecha se ha construido dos pozas de 18 x 60 x 2.0 metros, esta poza fue ampliada sobre una anterior y la construcción de una poza nueva de 20 x 60 x 4.0 metros ambas pozas se encuentran una a continuación de otra en la explanada del nivel 250, como se ve en la foto N° 24, estas pozas sirven para el almacenamiento de las aguas ácidas recolectadas de diferentes puntos como: interior de la mina que drenan por el nivel 400 y el nivel 250, de los depósitos de relaves N° 5 y otros, drenaje de la cancha de relaves antiguos de Huayllay. En la foto N° 24 se observa la construcción de dos pozas para el tratamiento de las aguas provenientes de las labores mineras.





**Foto N° 24.-** Dos pozas construidas para la sedimentación de las aguas ácidas colectadas de los diferentes puntos.

### **5.3.2.- Construcción del tanque de Lechada de Cal (antes).**

El tanque de preparación de cal consiste en un depósito grande de forma circular cuyo diámetro es de 1.5 m y alto de 2.00 m. tiene dos orificios uno de entrada par el agua limpia y otro para la salida de la solución por donde se alimenta la lechada de cal directamente al canal, aquí se realiza una agitación adecuada de manera manual, y otro para la salida de la solución por donde se alimenta la lechada de cal directamente al canal, la alimentación de la cal para formar la lechada de cal se realiza por la parte superior. Ver foto N° 25 (antes)





**Foto Nº 25.-** Tanque de preparación de lechada de cal de forma manual (antes) y personal midiendo el pH del agua.

#### **5.3.3.- Construcción del tanque de Lechada de Cal (actual).**

En la actualidad se cuenta con una pequeña planta instalada en la parte inicial de la planta concentradora y al pie de la tolva de cal, cuenta con molino, tanques para la mezcla, agitador, bomba, tuberías y mangueras, para ello, se aprovecha las instalaciones eléctricas, hídricas, equipos y maquinarias propias para moler la cal viva y producir lechada de cal como se observa en la foto Nº 26. La lechada de cal producida en esta planta es alimentada directamente al canal principal donde se encuentra las aguas acidas, a 6 kilómetros antes de la bocamina principal por medio de tuberías de PVC de 6" y luego 4" de diámetro respectivamente en una longitud de 320 metros. La instalación de estas tuberías se acopló por medio del pique "D"



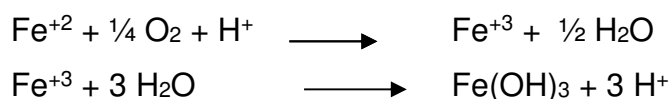
**Foto N° 26.-** Planta de preparación de lechada de cal, se encuentra en la parte inicial de la planta concentradora de minerales.

## **5.4.- Tratamiento de Aguas Acidas de mina con Hidróxido de Calcio.**

### **5.4.1.- Neutralización**

Se fundamenta en la adición de sustancias alcalinas, como uso de cal hidratada o (Lechada de Cal) con el propósito de obtener la neutralización del ácido y alcanzar las condiciones requeridas para una buena precipitación de los metales pesados.

La completa oxidación de hidróxido de hierro a más estable hidróxido férrico se puede lograr con la siguiente ecuación:



Por tanto toda La planta de Neutralización de aguas ácidas en referencia debe cumplir estas 2 funciones principales:

- a) La producción de agua con la calidad suficiente para reunir la legislación aplicable para el medio ambiente y ser descargado a cuerpo receptor o ser utilizado en algún otro proceso.

- b) La producción de un lodo estable de alta densidad para su almacenamiento en una cancha de relaves a un mínimo volumen.

En los diferentes procesos de tratamiento activo para aguas ácidas de mina se establecen en la precipitación de hidróxidos, realizándose el proceso mediante tres fases:

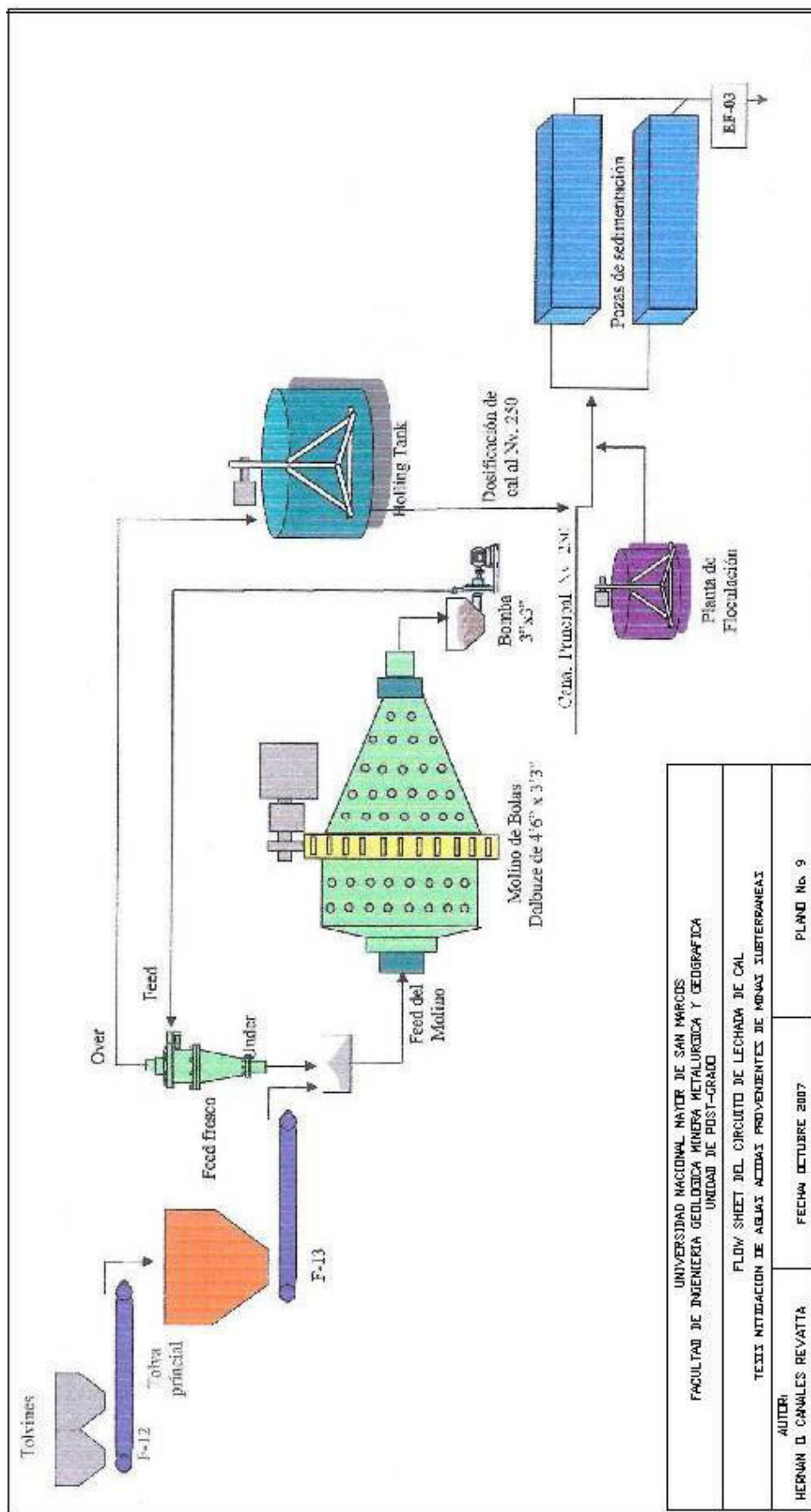
- Oxidación (para convertir  $\text{Fe}^{+2}$  en  $\text{Fe}^{+3}$ ).
- Dosis con álcalis, especialmente  $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- Sedimentación.

En la mina Huarón se viene utilizando cal hidratada  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (lechada de cal) por el contenido de grandes caudales y alta acidez. Como la cal hidratada es hidrófoba, se realiza una mezcla con el agua, se precisa de un dispositivo de agitación en la formación de la lechada (tanque) con la finalidad de adicionar y eliminar el hierro, en el proceso de la turbulencia natural, en este proceso no se requiere aireación por lo que el agua se encuentra drenando a través del canal principal en el nivel 250 donde se pueda lograr la oxidación del hierro ferroso hasta transformarse en hierro férrico.

Para realizar el proceso indicado se aprovecha el caudal, la corriente de agua, la distancia que tiene y la característica coloidal de los precipitados obtenidos al neutralizar aguas ácidas de minas y la energía cinética que el efluente genera durante su conducción por el canal del nivel 250. El agente neutralizante (Lechada de Cal), esta solución se añade directamente al canal de conducción de aguas ácidas a una distancia de 5.5. Kilómetros aproximadamente aguas arriba del punto de descarga suficiente para proporcionar el tiempo de contacto requerido para completar las reacciones de neutralización y precipitación de metales disueltos. La velocidad del efluente supera largamente la velocidad crítica de los precipitados generados y del agente neutralizante no consumido, debido a su granulometría fina.

### **Descripción de los componentes del Flow Shet**

Constituido por tolvinas que contiene la cal, luego pasa por una faja a la tolva principal, de esta tolva pasa a un depósito para a continuación ser introducido al molino de bolas de 4'6" x 3'3", luego pasa a una bomba de 3"x 3", esta solución es bombeada hacia el alimentador para ser distribuido: uno que retorna al tanque y al molino y la otra parte es enviada al tanque donde se encuentra la solución (lechada de Cal); de este tanque se dosifica la lechada de cal a las aguas ácidas del canal 350 a una distancia de 5,500 metros, por otro lado tenemos la planta de floculación ubicada en el lado izquierdo del canal principal y cerca de la boca del túnel Nevejans, el Flow Shet se indica en el plano N° 9.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS		
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA METALURGICA Y GEOGRAFICA		
UNIDAD DE POST-GRADO		
FLOW SHEET DEL CIRCUITO DE LECHADA DE CAL		
TESIS MITIGACION DE AGUAS ACIDAS PROVENIENTES DE MINAS SUBTERRANEAS		
AUTOR:	FECHA	PLANO No. 9
HERNAN D. CANALES REVATTA	OCTUBRE 2007	



#### 5.4.2.- Floculación

Para poder atrapar los sedimentos contenidos en la masa de agua proveniente de las labores mineras subterráneas, drenaje de depósito de relaves y otros a mayor velocidad, se requiere la utilización de un producto químico denominado (floculante) que se encarga de agrupar o aglutinar coloides. Para el presente trabajo de investigación a de usarse el **floculante químico “MAGNAFLOC 351”**, estos vienen preparados en sacos de 25 kilos como se muestra en la foto N° 27, cuenta con una balanza para el peso y control de la sustancia química para su preparación y adición respectiva.

La mayoría de los agentes floculantes operan sobre el principio de eliminación de cargas eléctricas en las partículas móviles, en combinación con un cuidadoso control del pH de (5.0 a 8.0)

La separación sólido-líquido del efluente neutralizado se consigue con la adición del Floculante MAGNAFLOC 351 que se adiciona en el mismo canal a una distancia de 250 metros aprox. donde actúa en forma rápida la formación de los precipitados disueltos, reduce su volumen y sedimenta rápidamente.



**Foto N° 27.-** Floculantes en bolsas de 25 kilos cada uno, una balanza para el pesaje y su hoja de datos.

#### 5.4.2.1.- Dosificación del Floculante

Consiste en pesar 2 kilos del floculante “MAGNAFLOC 351” y pasarlo por el humedecedor hacia el primer tanque que contiene agua fresca la cantidad de 432 litros, una vez agregado la sustancia se agita con una paleta generado por un motor eléctrico por espacio de 30 a 40 minutos hasta obtener una mezcla homogénea de solución, como se ve en la foto N° 28 y foto N° 29. Después de los 40 minutos, pasar al segundo depósito para su maduración, aquí se tiene el tanque con 2,100 litros de agua, se sigue agitando la solución hasta obtener una maduración completa, luego pasa al tanque dosificador (almacenaje), como se aprecia en la foto N° 30, de este tanque se bombea la solución (floculante) mediante un clasificador en línea, por una tubería de PVC de 2” de diámetro hasta una distancia de 250 metros al canal principal que contiene el agua ácida con hidróxido de calcio.



**Foto N° 28.-** Depósito para preparar los floculantes una porción de floculo y volumen de agua fresca.



**Foto N° 29.-** Se aprecia los tres tanques: tanque de preparación, maduración y dosificación (almacenaje).

### Cuadro N° 10

#### Consumo de Sustancias Químicas en el Tratamiento de agua ácida en el nivel 250

Agua tratada							Total
Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	6 meses
Caudal m <sup>3</sup> /mes	638923	935255	1280289	1296013	1347807	675487	617775
<b>SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSION</b>							
Entrada (TM/mes)	51.70	62.16	89.88	94.28	85.92	57.04	70.92
Salida (TM/mes)	13.93	16.33	24.43	42.00	42.11	14.72	29.06
Sedim. (TM/mes)	37.77	45.83	65.45	52.28	43.80	42.32	47.91
% Sedimentación	73.06	73.73	72.82	55.45	50.98	74.20	67.55
<b>CONSUMO DE FLOCULANTE</b>							
Kg/día	25	25	39	25	25	25	25.23
Kg/mes	350	500	1100	700	750	375	650.76
<b>COSTO DE TRATAMIENTO</b>							
\$	1575	2250	2630	3360	3600	1800	15215
\$/m <sup>3</sup>	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.002
\$/TMS Mineral	0.03	0.05	0.05	0.06	0.07	0.03	0.05

Fuente: Cía. Minera Huarón.

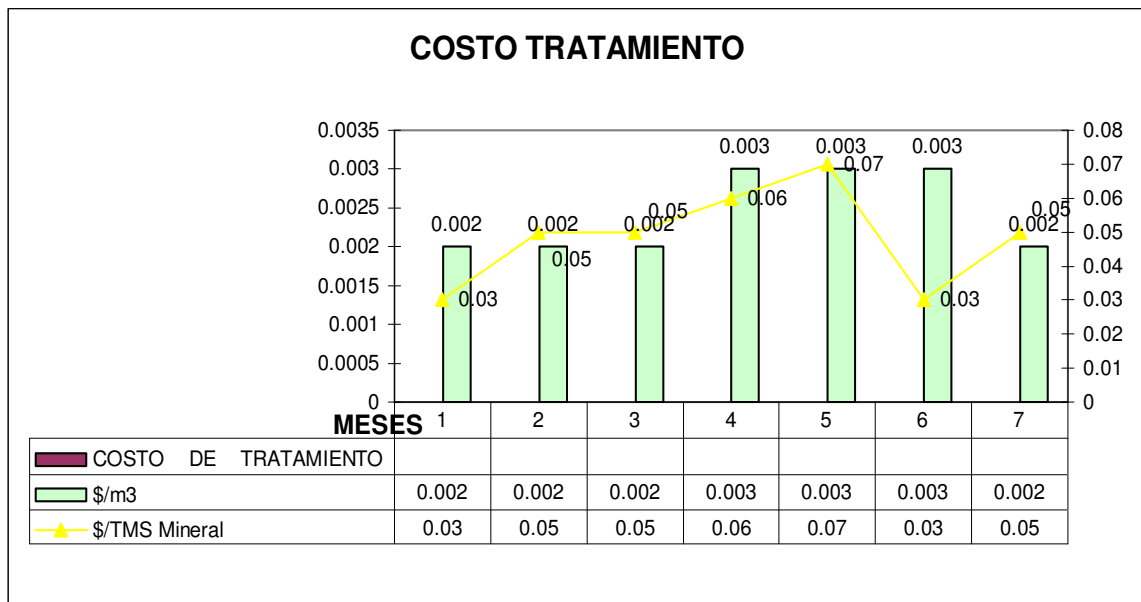


La tabla indica el % de sedimentación de enero a junio son variados debido al agregado de floculantes no era continuo, según el cuadro de consumo Kg/mes no simboliza al producto del consumo diario, (5kg/día x 30 días/mes, sería = 750 kilos/mes)

El % de los Sólidos en suspensión son variados, debido a la cantidad del caudal de agua y el manejo de los floculantes.

Siendo el costo de tratamiento de \$ 0.002 x m³ y costo de TMS de mineral de \$ 0.005 dólares americanos. Se ve en el gráfico N° 14.

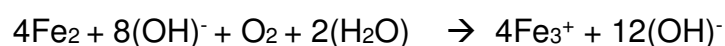
**Gráfico N° 14**



Fuente: Cía. Minera Huarón.

#### 5.4.3.- Sedimentación.-

Con el método de tratamiento activo, se aplica especialmente para soluciones de agua de mina ácidas con lechada de cal (mezcla acuosa de material insoluble que resulta a partir de algunas técnicas de control de la contaminación). Esta tecnología garantiza precipitar en forma de hidróxidos a los elementos zinc, plomo, hierro, cobre, Arsénico, entre otros. La reacción de oxidación del hierro ferroso a hierro férrico se representa por la siguiente ecuación química:



Esta oxidación es para formar compuestos más estables y no permitir la redisolución que ocasiona también la redisolución de otros elementos pesados perjudicando la calidad del efluente líquido tratado. Se muestra en el **FLOW SHEET DEL CIRCUITO DE LECHDA DE CAL**, plano N° 9.

Los precipitados de las pozas de sedimentación son bombeados mediante 02 bombas instalados en las casetas. Ver foto N° 34.

### **5.5.- Clarificación de las Aguas Ácidas**

El Proceso de coagulación transforma las pequeñas partículas en grandes aglomerados, de manera que se facilite la sedimentación.

La precipitación de partículas floculadas, nos permita el tiempo para mantener un espejo de agua de aproximadamente 0.50 m en la parte superior de las pozas, las mismas que son drenadas en forma natural de acuerdo al sistema de canalización realizada totalmente abiertos al final de los reservorios, permitiendo así mantener el nivel inferior en completo reposo, eliminando el flujo laminar que nos produciría si el agua clara la evacuamos por reboce. Ver foto N° 30.



**Foto N° 30.-** Poza donde se clarifican las aguas.

## 5.6.- Vertimiento

El agua después de ser tratada, son vertidas al cuerpo receptor al río San José por reboce de manera natural, luego pasa a formar parte del río Anticoná y finalmente las aguas van a descargar al río Mantaro y con los estándares de calidad deseados, por debajo de los niveles máximos permisibles. Ver foto N° 31. Los gráficos N° 15 y N° 16 nos indica los análisis de agua y los valores encontrados en los puntos de monitoreo llevados a cabo en los meses de abril a junio del 2006 como resultado general.



**Foto N° 31.-** Las aguas ácidas tratadas en estas pozas son vertidas al río San José, personal midiendo el pH (8.25).

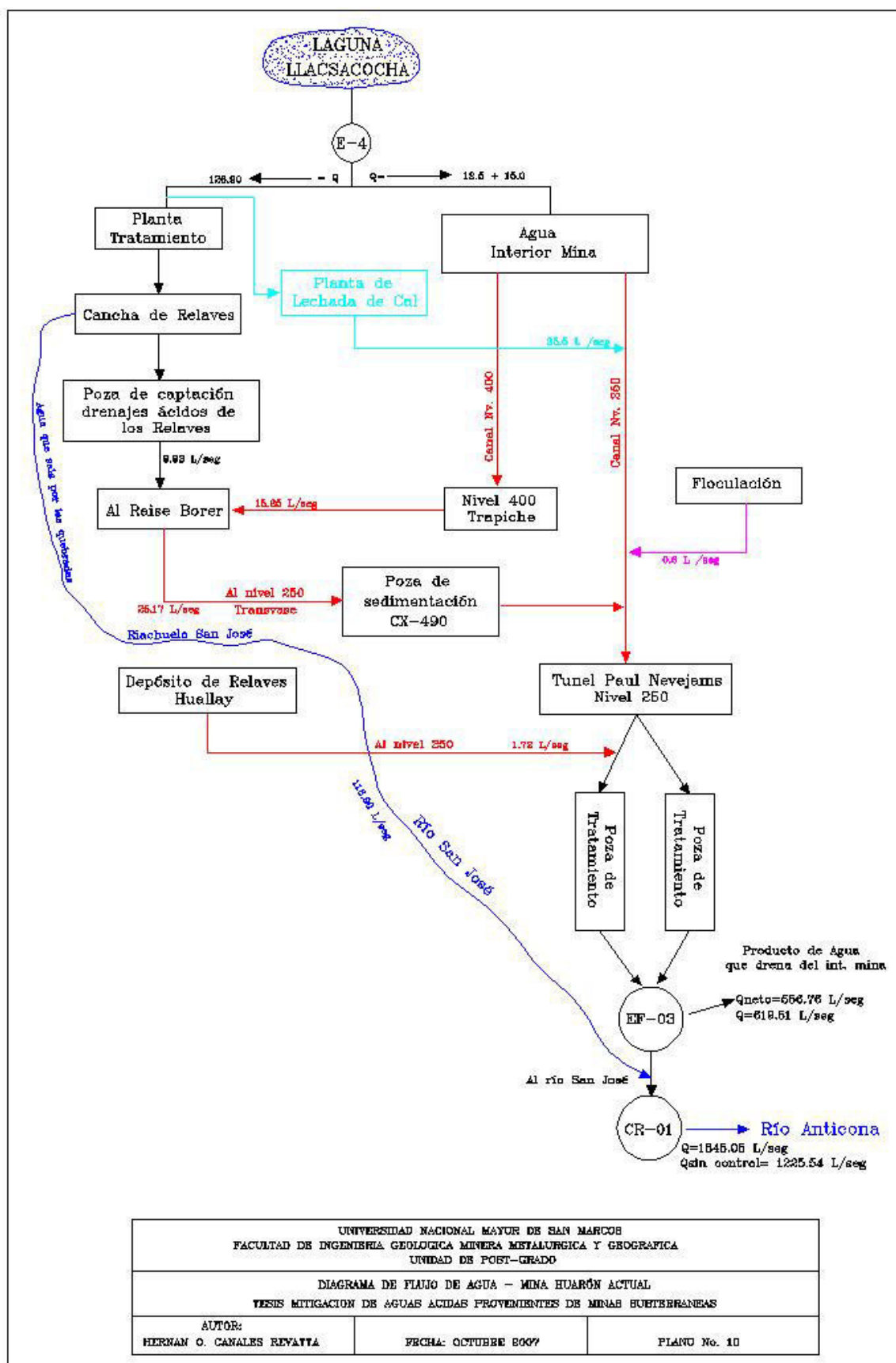
A la fecha solo cuentan con los puntos de monitoreo (EF – 03) con volumen de 619.50 Lt/s y (CR-01) con un volumen de 5,535.15 Lt/s. reducido para el control de las aguas ácidas como se aprecia en el diagrama de flujo de agua, plano N° 10.

### Cuadro N° 11

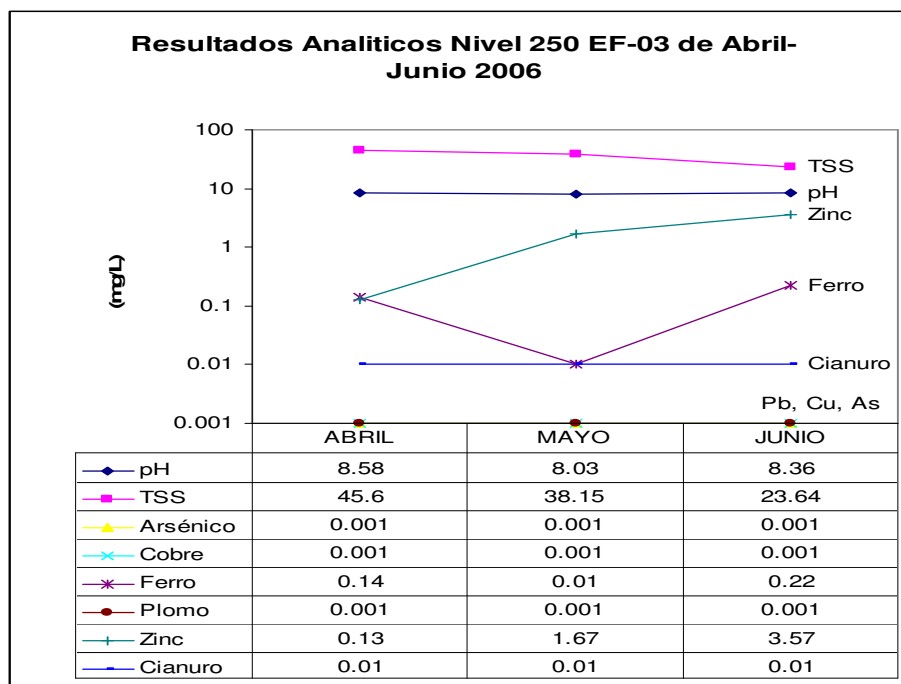
#### Puntos de monitoreo de agua.

Punto	Descripción	Coordenadas UTM	
EF-03	Nivel 250 Túnel Paúl Nevejans	8'784,796 N	351,649 E
CR-01	Río Anticoná	8'786,473 N	354,397 E

Fuente: Cía. Minera Huarón.



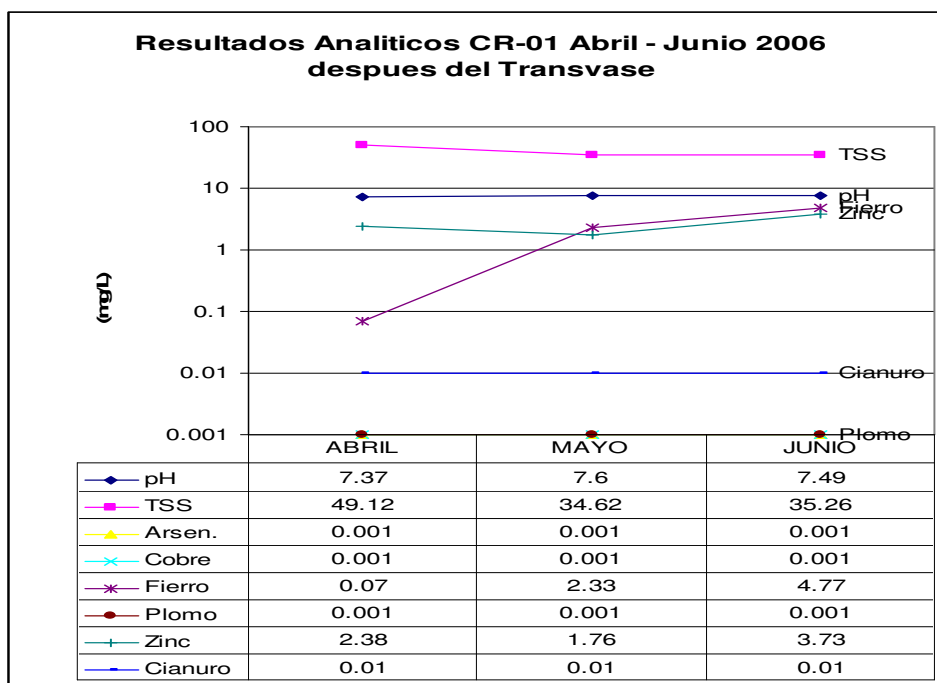
**Gráfico N° 15**



Fuente: Cía. Minera Huarón.

Resultados Analíticos Nivel 250 EF – 03 de Abril – Junio 2006  
(Después del Transvase)

**Gráfico N° 16**



Fuente: Cía. Minera Huarón.



### 5.7.- Limpieza de las pozas

La limpieza de las pozas de sedimentación de sólidos lo realizan cotidianamente debido a que la concentración de los sólidos del drenaje de mina es alto, los lodos recuperados en dichas pozas son trasladados hacia el lecho de secado, con la finalidad de deshidratar los lodos por efecto de la temperatura y una vez que la lama removida se encuentra seca es trasladada mediante carretillas hacia la cancha de lodos que viene a ser la disposición final. Ver foto N° 32.



**Foto N° 32.-** Almacenamiento de lodos en época anterior.

#### 5.7.1.- Mantenimiento de las pozas de Lodos

El material sedimentado de las pozas son retiradas en función a la proporción de los contenidos de sólidos y al volumen de las aguas ácidas tratadas, provenientes del nivel 250, pudiendo ser de 1 a 6 días el período de operación de la poza para luego entrar a la etapa de descarga.

Las dos pozas trabajan en forma alternada, donde una de ellas se encuentra en proceso de “operación” y la otra en “descarguío”, cumpliendo así el ciclo de operación, este proceso se observa en la foto N° 33.



**Foto N° 33.-** Limpieza de las pozas de sedimentación después de 3 a 4 días de reposo con la lechada de cal y floculante.

#### **5.7.2.- Manejo de Lodos en la actualidad.**

Los flóculos decantados son extraídos como lodos, estos lodos se “sangran” o extraen regularmente para asegurar que su lecho mantenga la adecuada densidad y que tenga el espesor óptimo requerido, y evitar que se eleven al nivel superior y se mezclen con las aguas limpias, seguidamente se cambia el agua al segundo pozo y se extrae la totalidad de lodos del primer pozo y así sucesivamente se cumple con el ciclo de manejo de lodos. Ver foto N° 38.

Los lodos producidos son superiores en cuanto a la estabilidad química y física llegando a tener entre 25-30% de sólidos en clarificados y cerca del 50% en la poza de almacenamiento.

#### **5.7.3.- Extracción de Lodos de la poza de Sedimentación**

En la actualidad cada poza cuenta con una bomba vertical 3 ½ “ x 48” en forma independiente y para la remoción de los lodos dentro de la poza se hace uso de agua y aire a presión.

La poza por el cual no fluye el agua de mina (poza en etapa de descarguío) sigue el siguiente procedimiento:

- Se deja un tiempo de reposo para la decantación de los sólidos en suspensión (+/- 4 hr).
- A través de la bomba vertical (3 ½ “ x 48”) se impulsa el agua clarificada hacia la otra poza o a la vertiente de agua clarificada.
- Con la misma bomba, se procede a evacuar la fase de "agua y partículas finas en suspensión", hacia las canchas de almacenamiento de lodos hasta alcanzar una densidad de 110 g/L el cual se considera el mínimo permisible para la siguiente etapa. este proceso se aprecia en la foto N° 34.



**Foto N° 34.-** Los lodos sedimentados, son bombeados a las pozas de lodos mediante dos bombas instaladas uno en cada caseta.

#### **5.7.4.- Almacenamiento de Lodos**

También a través de la bomba, se procede el llenado de la cisterna con lodo que tenga una densidad por encima de 1100 g/L.

El lodo generado es transportado por medio de cisternas hacia la cancha de relave N° 03, el encargado de la evacuación del lodo es el conductor del vehículo quien abre la válvula del vehículo para su respectiva evacuación por una distancia aproximada de 5 kilómetros.



## 5.8.- Ventajas y Desventajas

### 5.8.1.- Ventajas

- 1.- Eliminación de las pozas de sedimentación del Nv. 400 túnel Trapiche y cancha de relaves, por la conducción al nivel 250 por medio del raise borer.
- 2.- Simplificación de las áreas de tratamiento a un solo lugar.
- 3.- Construcción de una planta para la obtención de lechada de cal, para adicionar las 24 horas del día en reemplazo de uno manual.
- 4.- La solución (lechada de Cal), se adiciona directamente al canal en el nivel 250 y a 5 500 metros de la bocamina principal.
- 5.- No requiere recirculación de las aguas en este sistema.
- 6.- Este sistema de Neutralización y Floculación se aplica en caudales altos.
- 7.- Los costos operativos son bajos.

### 5.8.2.- Desventajas

- 1.- Los costos de cal son alto.
- 2.- Alto costo en la disposición final de los lodos.

### Cuadro Nº 12

#### Costo de tratamiento de Aguas Acidas de Mina – Junio 2006

	<b>Unitario</b>	<b>COSTO</b>
	<b>US \$ / TMS</b>	<b>Total US \$</b>
<b>Total</b>	<b>0.03</b>	<b>1 506</b>
<b>Materiales</b>		
Cal aguas ácidas Nv 250	0.29	17 325
Floculante Nv 250	0.08	4 777
<b>Subtotal</b>	<b>0.37</b>	<b>22 102</b>
<b>Servicios de Terceros</b>		
Nv 250 Limpieza de pozos	0.03	1 538
Disposición final de lodos	0.17	9 895
<b>Subtotal</b>	<b>0.19</b>	<b>11 433</b>
<b>Total Costo</b>	<b>0.59</b>	<b>35 041</b>

Fuente: Cía. Minera Huarón.

## CAPITULO VI

### Conclusiones y Recomendaciones

#### 6.1.- CONCLUSIONES

- 1.- Las aguas ácidas producto de los efluentes mineros antes de ser tratadas arrojaban valores que sobre pasaban los Límites Máximos Permisibles en pH, Sólidos Totales en Suspensión y valores altos en el Fe y Zn, cuyo resultado se muestra en los monitoreos realizados en los diferentes puntos como se indica en el cuadro adjunto:

Años	2002				2003			
Puntos de Monitoreo	pH	TSS	Zn	Fe	pH	TSS	Zn	Fe
EF-03 Nivel 250 (túnel Paúl Nevejans)	2.8		12.70	65.14	4.5			18.45
EF-05 Deposito de Relaves N° 5 y otros								
EF-02 Nivel 400 (túnel Trapiche)	3.2				5.8			
S-9 Reunion de aguas	2.3				5.4			
EF-06 Relaves Huayllay	2.5	104.41	18.05	16.81	4.3	292.6	26.3	
CR-01 Rio Anticona								

Fuente: Laboratorios LABECO.

## Segundo Cuadro de los años 2004 y 2005

Años	2004				2005			
Puntos de Monitoreo	pH	TSS	Zn	Fe	pH	TSS	Zn	Fe
<b>EF-03</b> Nivel 250 (túnel Paúl Nevejans)	6.20	80.0	31.00	30.0	6.67			
<b>EF-05</b> Deposito de Relaves N° 5 y otros	4.22	76.0	6.80	6.23	3.43			
<b>EF-02</b> Nivel 400 (tunnel Trapiche)	3.43	228.0	12.70	133.0				
<b>S-9</b> Reunion de aguas	5.05	176.0	80.0	24.00				
<b>EF-06</b> Relaves Huayllay	2.75	10.8	8.40	26.0				
<b>CR-01</b> Rio Anticona	5.10	98.0	4.85	10.0	5.64			

Fuente: Laboratorios LABECO..

2.- Se realizaron mejoras tales como: El transvase del drenaje de las aguas del Nv 400 (túnel trapiche), cancha de relaves N° 5 y otros, por intermedio de la perforación diamantina de 8.5" de diámetro hacia el interior mina al canal principal del Nv. 250 y las aguas de los relaves antiguos de Huayllay mediante tubería, logrando reducir los costos en un 60 % y mejorar la mitigación de las aguas y reduciendo los puntos de monitoreo de efluentes mineros de 8 a sólo 2 puntos.

3.- De acuerdo a los monitoreos realizados de abril a Junio del 2006, después de haber realizado la mitigación de las aguas acidas mediante la técnica de tratamiento de aguas ácidas por el método Neutralización, Floculación y Sedimentación (NFS) con la aplicación del uso de cal se logró a cumplir los límites máximos permisibles según la R.M. 011-96 EM/VMM y la Ley general de aguas Clase III, cuyos valores monitoreados en el punto EF-03 y CR-01, se representa en el cuadro adjunto.

Año	2 0 0 6			
Puntos de Monitoreo	pH	TSS	Zn	Fe
<b>EF-03</b>	8.03 -8.58	23.64 – 45.6	0.13 – 3.57	0.01 – 0.22
<b>CR-01</b>	7.37 – 7.60	34.62 – 49.12	-----	0.07 – 4.77

Fuente: Laboratorios LABECO..

## **6.2.- Recomendaciones**

- 1.- Descargar las aguas ácidas del punto EF-06 a unos 500 metros antes de la bocamina principal del nivel 250 para no alterar el pH en la descarga del agua.
- 2.- Instalar una bomba de mayor capacidad (350 metros de cabeza) con la finalidad de bombear los lodos hasta su disposición final (cancha de relaves) y no usar cisternas para el transporte.
- 3.- Hacer mantenimiento de la planta de tratamiento de hidróxido de calcio, para evitar problemas posteriores.
- 4.- Establecer un programa de mantenimiento de la chimenea Raise Borer para evitar Obstrucciones en el futuro.
- 5.- Construcción de otra poza de mayor capacidad que la poza grande ya que en la actualidad las pozas no son suficientes por el alto volumen de agua que se tiene.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Aduvire Oswaldo- (Madrid 2006), Instituto Geológico Minero de España, Drenaje Acido de Mina Generación y Tratamiento.
- 2.- Aduvire Oswaldo y Hugo – (Julio 2005). Biogeoquímica y Fases Mineralógicas en Drenajes Ácidos de Mina.
- 3.- Balvin Diaz, Doris, 1995, Agua, Minería, y Contaminación, El Caso del Sur de Perú: Ediciones Labor, Ilo, Perú.
- 4.- Bonelli, J. (1997) I Simposioun Nacional de Medio Ambiente y Seguridad Minera. Aspectos fundamentales en la generación de drenaje ácido y racionalización para su control
- 5.- Betournay et al. (1997) I Simposioun Nacional de Medio Ambiente y Seguridad Minera. Alternativas para el manejo de drenajes ácidos de mina.
- 6.- Castro, S.H. et al. (Universidad de Concepción Chile, 1997), Tecnología limpia para la industria minera metalúrgica.
- 7.- CENTROMIN- (Cerro de Pasco- Agosto 1996), Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA). UDP.
- 8.- Compañía Minera Huarón S.A. (Marzo 1,995), Informe de Evaluación Ambiental Preliminar (EVAP)
- 9.- Compañía Minera Huarón S.A. (Julio 1,995), Informe de Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA)
- 10.- H.A. SIMONS LTD (Lima Enero 1997), Environmental Group. Action Plan Workshop.
- 11.- Hurtado, J. H. (1997), Biotecnologías aplicadas al drenaje ácido. I Simposio Nacional de Medio Ambiente y Seguridad Minera.
- 12.- Lovera Dávila, Daniel F. (Junio 2001): Desarrollo de tecnologías para el tratamiento de drenajes ácidos de mina (DAM), drenaje ácido de rocas (DAR) y otros efluentes industriales
- 13.- Ministerio de Energía y Minas – (Mayo 1,995), Guía Ambiental para el Manejo de Drenaje Ácido de Minas Vol. IV

- 14.- Ministerio de Energía y Minas (Mayo 1,995), Guía Ambiental de Manejo de Aguas en Operaciones Minero – Metalúrgico Vol. III
- 15.- Ministerio de Energía y Minas - (Mayo 1,995), Guía para elaborar estudios de impactos Ambientales Dirección General de Asuntos Ambientales,
- 16.- Ministerio de Energía y Minas– (Diciembre 1,997), Compendio Legislativo. Volumen I y II Editorial Normas legales. Trujillo – Perú.
- 17.- Ministerio de Salud- (Lima- 1999), Dirección General de Salud Ambiental. Estadísticas sobre monitoreo de la calidad del aire en ciudades seleccionadas.
- 18.- Palomino Cárdenas Edwin, Paredes Vílchez Marcell, Villanueva Ríos Aynor. (Julio 2005). Biorremediación de Drenajes Ácidos de Mina (DAM), mediante el sistema de Humedales.
- 19.- Villachica C. y otros – (Julio - 2005), IV Congreso Internacional de Medio Ambiente en Minería y metalurgia.

# ANEXOS

## ANEXO Nº 01

### PUNTO DE CONTROL DE MONITOREO DE AGUA

Nombre de la Empresa	:	Compañía Minera Huarón
Nombre Unidad Operativa	:	Mina Huarón
Nombre del Punto	:	EF-03
Descripción del Punto	:	Nivel 250 túnel Paúl Nevejans
Clase de Punto	:	<input type="checkbox"/> E E= Emisor      R= Receptor
Tipo de Muestra	:	<input type="checkbox"/> L L= Líquida    X G= Gaseosa      S= Sólida
Ubicación      Distrito	:	Huayllay
Provincia	:	Cerro de Pasco
Departamento	:	Pasco
Cuenca	:	Mantaro
Referencia	:	Río San José

### COORDENADAS UTM.

Norte	:	8'784,796
Este	:	351,649
Zona	:	18



Fuente: Cía. Minera Huarón



## ANEXO Nº 02

### COSTOS

#### PROYECTO: AGUA DE MINA

#### CRONOGRAMA DE INVERSIONES 2001 - 2006

ITEM	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	PERIODO					TOTAL US\$
		2001	2002	2003	2004	2005	
<b>1,00</b>	<b>Ampliación de Pozas de Sedimentación Nv 250</b>	<b>12 000.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>175 205.00</b>	<b>187 205.00</b>
1,10	Ingeniería	3 000.00				6 840.00	
1,20	Construcción	9 000.00				158 255.00	
1,30	Sistema de limpieza					10 110.00	
<b>2,00</b>	<b>Monitoreo en Interior mina y descarga para el diseño</b>		<b>2 267.00</b>	<b>7 200.00</b>	<b>0.00</b>	<b>17 500.00</b>	<b>26 967.00</b>
<b>3,00</b>	<b>Diseño de mitigación</b>					<b>5 851.00</b>	<b>5 851.00</b>
<b>4,00</b>	<b>Construcción de Sistemas de tratamiento de Mina</b>			<b>41 443.00</b>	<b>26 344.00</b>	<b>134 620.00</b>	<b>202 407.00</b>
4,10	Ingeniería					15 100.00	
4,20	Captación y conducción de aguas ácidas al Nv 250			41 443.00	26 344.00	119 520.00	
	<b>Total de Inversión US \$</b>	<b>12 000.00</b>	<b>2 267.00</b>	<b>48 643.00</b>	<b>26 344.00</b>	<b>333 176.00</b>	<b>422 430.00</b>

Fuente: Cía. Minera Huarón

#### Costo de Tratamiento de Aguas Acidas de Mina – Junio 2006

	<b>Unitario</b>	<b>COSTO</b>
	<b>US \$ / TMS</b>	<b>Total US \$</b>
<b>Total</b>	<b>0.03</b>	<b>1 506</b>
<b>Materiales</b>		
Cal Aguas Acidas Nv 250	0.29	17 325
Floculante Nv 250	0.08	4 777
<b>Subtotal</b>	<b>0.37</b>	<b>22 102</b>
<b>Servicios de Terceros</b>		
Nv 250 Limpieza de pozos	0.03	1 538
Disposición final de lodos	0.17	9 895
<b>Subtotal</b>	<b>0.19</b>	<b>11 433</b>
<b>Total Costo</b>	<b>0.59</b>	<b>35 041</b>

Fuente: Cía. Minera Huarón.

## ANEXO N° 03

### RESULTADO OBTENIDOS DEL MONITOREO

#### Punto de monitoreo S-9 (río San José)

Elementos (mg/lt)	FEBRERO 1996	MARZO 1996	ABRIL 1996	MAYO 1996
pH	3.5	2.6	2.3	5.4
TSS (mg/L)	12.0	16.0	18.0	2.0
Arsénico (mg/L)	<0.10	<0.10	<0.10	0.006
Cobre (mg/L)	0.06	0.09	0.09	0.04
Ferro (mg/L)	1.59	0.08	0.09	0.07
Plomo (mg/L)	4.14	7.08	6.11	2.08
Zinc (mg/L)	11.60	0.16	0.20	2.85
Cianuro (mg/L)	<0.10	<0.10	----	----

Fuente: Mina Huarón

#### Punto de monitoreo (E-2) drenaje del túnel Trapiche nivel 400.

Elementos (mg/lt)	FEBRERO 1996	MARZO 1996	ABRIL 1996	MAYO 1996
pH	3.5	4.5	4.4	2.8
TSS (mg/L)	12.0	16.0	18.0	2.0
Arsénico (mg/L)	<0.10	<0.10	<0.10	0.050
Cobre (mg/L)	0.06	0.11	0.10	0.04
Ferro (mg/L)	2.44	2.59	0.54	3.14
Plomo (mg/L)	0.08	0.09	0.08	0.09
Zinc (mg/L)	37.50	22.60	36.50	24.00
Cianuro (mg/L)	---	---	<0.10	<0.10

Fuente: Mina Huarón

## RESULTADOS ANALITICOS EN METALES DISUELTOS

**MES JULIO 2005**

PARAMETROS	CR-01	EF-02	EF-03	EF-05	EF-06
	RESULTADOS OBTENIDOS				
Hora	17.17	15.00	11.35	15.41	15.05
Volumen (m³/día)	169681.82	857.08	45794.59	8724.79	778.46
pH (U. estándar)	5.64	4.37	6.86	4.15	4.10
TSS (mg/L)	45.21	25.20	54.31	33.72	93.27
Arsénico (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cobre (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	0.274	0.097
Ferro (mg/L)	0.13	<0.01	4.09	0.12	125.00
Plomo (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Zinc (mg/L)	2.336	1.412	11.601	0.108	32.07
Cianuro (mg/L)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02

Fuente: Cía. Minera Huarón

## RESULTADOS ANALITICOS EN METALES DISUELTOS

**MES AGOSTO 2005**

PARAMETROS	CR-01	EF-02	EF-03	EF-05	EF-06
	RESULTADOS OBTENIDOS				
Hora	15.30	16.33	17.45	17.00	14.43
Volumen (m³/día)	194738.69	1492.13	47131.34	9203.33	79.49
pH (U. estándar)	6.40	5.53	7.00	4.97	3.97
TSS (mg/L)	20.80	95.30	45.07	31.47	84.17
Arsénico (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cobre (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Ferro (mg/L)	<0.01	<0.01	7.46	<0.01	36.55
Plomo (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Zinc (mg/L)	2.075	1.426	13.208	0.249	4.30
Cianuro (mg/L)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02

Fuente: Cía. Minera Huarón

**RESULTADOS ANALITICOS EN METALES DISUELTOS**  
**MES SETIEMBRE 2005**

PARAMETROS	CR-01	EF-02	EF-03	EF-05	EF-06
	<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>				
Hora	17.25	18.10	17.20	15.30	17.30
Volumen (m <sup>3</sup> /día)	170438.69	1345.25	44710.27	6857.57	89.86
pH (U. estándar)	6.03	5.25	6.75	3.43	4.11
TSS (mg/L)	22.27	55.40	21.37	29.72	81.63
Arsénico (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.006
Cobre (mg/L)	0.103	<0.001	0.071	0.716	<0.001
Ferro (mg/L)	<0.01	<0.01	1.13	0.77	25.54
Plomo (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Zinc (mg/L)	1.438	1.38	14.88	0.188	90.93
Cianuro (mg/L)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02

Fuente: Cía. Minera Huarón

**RESULTADOS ANALITICOS EN METALES DISUELTOS**  
**MES OCTUBRE 2005**

PARAMETROS	CR-01	EF-02	EF-03	EF-05	EF-06
	<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>				
Hora	17.59	14.55	14.18	17.41	14.30
Volumen (m <sup>3</sup> /día)	170190.72	1361.66	44662.02	9854.49	114.90
pH (U. estándar)	6.12	5.43	6.67	4.02	3.84
TSS (mg/L)	1.31	45.20	29.72	40.75	77.42
Arsénico (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cobre (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Ferro (mg/L)	<0.01	<0.01	0.11	<0.01	38.89
Plomo (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Zinc (mg/L)	<0.001	4.350	8.39	0.430	43.52
Cianuro (mg/L)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02

Fuente: Cía. Minera Huarón

**RESULTADOS ANALITICOS EN METALES DISUELTOS**  
**MES NOVIEMBRE 2005**

PARAMETROS	CR-01	EF-02	EF-03	EF-05	EF-06
	<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>				
Hora	13.24	16.26	17.55	15.50	16.26
Volumen (m <sup>3</sup> /día)	153739.29	1455.84	38618.21	14481.48	132.19
pH (U. estándar)	6.44	4.04	6.98	3.99	5.98
TSS (mg/L)	1.71	4.37	53.37	49.27	75.69
Arsénico (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cobre (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	1.45	0.02
Ferro (mg/L)	<0.01	0.12	0.15	0.53	44.17
Plomo (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Zinc (mg/L)	<0.001	3.40	9.70	5.44	23.13
Cianuro (mg/L)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02

Fuente: Cía. Minera Huarón

**RESULTADOS ANALITICOS EN METALES DISUELTOS**  
**MES DICIEMBRE 2005**

PARAMETROS	CR-01	EF-02	EF-03	EF-05	EF-06
	<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>				
Hora	17.18	16.26	17.30	16.16	17.37
Volumen (m <sup>3</sup> /día)	134667.36	1516.32	43545.60	8729.86	126.144
pH (U. estándar)	6.35	4.55	6.83	4.99	4.63
TSS (mg/L)	4.78	45.20	47.21	39.47	37.35
Arsénico (mg/L)	<0.001	<0.001	0.03	<0.001	0.043
Cobre (mg/L)	0.182	<0.001	<0.001	0.98	0.067
Ferro (mg/L)	11.06	<0.01	<0.001	<0.01	24.12
Plomo (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.01	<0.001	0.000
Zinc (mg/L)	5.96	3.12	10.35	0.120	13.25
Cianuro (mg/L)	<0.02	<0.02	<0.02	0.76	<0.02

Fuente: Cía. Minera Huarón

**RESULTADOS ANALITICOS EN METALES DISUELTOS**  
**MES ENERO 2006**

PARAMETROS	CR-01	EF-02	EF-03	EF-05	EF-06
	<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>				
Hora	12.35	11.28	12.40	16.00	14.35
Volumen (m <sup>3</sup> /día)	148227.84	1382.40	43765.92	8238.24	114.91
pH (U. estándar)	7.11	6.60	6.78	5.38	5.11
TSS (mg/L)	21.60	42.80	55.77	57.20	56.89
Arsénico (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.00
Cobre (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	0.982	0.01
Ferro (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	1.25
Plomo (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.00
Zinc (mg/L)	2.079	5.210	5.66	0.12	2.36
Cianuro (mg/L)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02

Fuente: Cía. Minera Huarón

**RESULTADOS ANALITICOS EN METALES DISUELTOS**  
**MES FEBRERO 2006**

PARAMETROS	CR-01	EF-02	EF-03	EF-05	EF-06
	<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>				
Hora	16.05	15.05	15.26	14.55	15.35
Volumen (m <sup>3</sup> /día)	221810.4	1257.98	44343.94	13241.66	171.07
pH (U. estándar)	7.21	3.45	6.95	4.99	4.90
TSS (mg/L)	51.26	56.30	12.36	46.55	56.26
Arsénico (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cobre (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Ferro (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Plomo (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Zinc (mg/L)	1.45	1.99	<0.001	0.57	0.11
Cianuro (mg/L)	<0.02	<0.02	<0.01	<0.01	<0.01

Fuente: Cía. Minera Huarón

**RESULTADOS ANALITICOS EN METALES DISUELTOS**  
**MES MARZO 2006**

PARAMETROS	CR-01	EF-02	EF-03	EF-05	EF-06
	<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>				
Hora	17.30	18.05	18.31	10.12	16.29
Volumen (m <sup>3</sup> /día)	221988.89	1225.15	43027.20	7467.55	120.96
pH (U. estándar)	6.78	4.01	7.06	3.95	5.97
TSS (mg/L)	2.40	34.30	16.13	28.67	67.21
Arsénico (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.00
Cobre (mg/L)	0.07	<0.001	<0.001	1.32	0.00
Ferro (mg/L)	0.23	0.04	0.01	4.28	0.06
Plomo (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.12
Zinc (mg/L)	2.84	0.08	5.70	2.84	0.00
Cianuro (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01	0.88	<0.01

Fuente: Cía. Minera Huarón

**RESULTADOS ANALITICOS EF- 03**  
**DE ABRIL - JUNIO 2006**

	ABRIL	MAYO	JUNIO
Hora	18.42	11.51	10.25
Volumen (m <sup>3</sup> /día)	55568.16	57024.00	47984.83
pH (U. estándar)	8.58	8.03	8.36
TSS (mg/L)	45.60	38.15	23.64
Arsénico (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001
Cobre (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001
Ferro (mg/L)	0.14	<0.01	0.22
Plomo (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001
Zinc (mg/L)	0.13	1.67	3.57
Cianuro (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01

Fuente: Cía. Minera Huarón



**RESULTADOS ANALITICOSCR-01**  
**DE ABRIL - JUNIO 2006**

	ABRIL	MAYO	JUNIO
Hora	17.11	10.52	11.25
Volumen (m <sup>3</sup> /día)	163853.28	145355.04	169028.64
pH (U. estándar)	7.37	7.60	7.49
TSS (mg/L)	49.12	34.62	35.26
Arsénico (mg/L)	0.001	0.001	0.001
Cobre (mg/L)	0.001	0.001	0.001
Ferro (mg/L)	0.07	2.33	4.77
Plomo (mg/L)	0.001	0.001	0.001
Zinc (mg/L)	2.38	1.76	3.73
Cianuro (mg/L)	0.01	0.01	0.01

Fuente: Cía. Minera Huarón